



Fremtidens biogasfællesanlæg – nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale

Christensen, Johannes; Hjort-Gregersen, K.; Uellendahl, Hinrich; Ahring, Birgitte Kiær; Baggesen, Dorte Lau; Stockmarr, Anders; Møller, Henrik Bjarne; Birkmose, T.

Publication date:
2007

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Christensen, J., Hjort-Gregersen, K., Uellendahl, H., Ahring, B. K., Baggesen, D. L., Stockmarr, A., Møller, H. B., & Birkmose, T. (2007). *Fremtidens biogasfællesanlæg – nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale*. Fødevarøkonomisk Institut.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Fødevareøkonomisk Institut

Rapport nr. 188

Fremtidens biogasfællesanlæg

Nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale

Future Biogas Plants

New systems and their economic potential

*Johannes Christensen, Kurt Hjort-Gregersen
Hinrich Uellendahl, Birgitte K. Ahring
Dorte Lau Baggesen, Anders Stockmarr
Henrik B. Møller, Torkild Birkmose*

København 2007

ISBN 978-87-92087-07-2 (tryk, **Error! Style not defined.**)
ISBN 978-87-92087-08-9 (on-line, **Error! Style not defined.**)

Indholdsfortegnelse

Forord	5
Sammendrag, konklusioner og perspektivering	7
1. Indledning	15
1.1. Baggrund	15
1.2. Projektets formål	17
1.3. Projektets gennemførelse.....	18
2. Forøgelse af biogasudbytte fra gylle	23
2.1. Grundprincipper	23
2.2. Metoder til opkoncentrering	24
2.3. Reduktion af vandtilsætning	25
2.4. Metoder til forbedret omsætning af fibermaterialer	25
2.5. Mulige forbehandlingsmetoder.....	26
2.6. Metodernes effektivitet i relation til øget gasudbytte	26
2.7. Implementering på biogasfællesanlæg	32
Litteraturliste	35
3. Anlægskoncepter for fuldskaladrift.....	37
3.1. Valg af mest lovende anlægskoncepter efter første analyserunde	37
3.2. Reviderede anlægskoncepter	38
3.3. Sammenlignende analyser	45
4. Massebalancer for anlægskoncepter.....	47
Litteraturliste	53
5. Landbrug og næringsstofforvaltning	55
5.1. Metode.....	55
5.2. Begrænsninger i tilførsel af husdyrgødning	55
5.3. Beskrivelse af oplande.....	56
5.4. Resultater for landbrugsoplande.....	61
Litteraturliste	64
6. Påvirkning af miljøet.....	65

6.1.	Udvaskning af nitrat	65
6.2.	Fordampning af ammoniak.....	66
6.3.	Emission af drivhusgasser	67
	Litteraturliste.....	70
7.	Vurdering af risiko for smittespredning ved anvendelse af nye biogasteknologier.....	71
7.1.	Indledning.....	71
7.2.	Udvikling af risikovurderingsmodel.....	72
7.3.	Resultater og diskussion af risikovurdering for smittespredning ved gyllehåndtering og anvendelse af biogasteknologier	75
	Litteraturliste.....	80
8.	Driftsøkonomi	81
8.1.	Indledning.....	81
8.2.	Elementer i analysen.....	81
8.3.	Generelle forudsætninger	83
8.4.	Driftsøkonomiske resultater	85
8.5.	Uddybning af analyserne	90
8.6.	Omkostninger til separering	93
8.7.	Omkostninger til vådoxidering og trykkogning	95
8.8.	Resultater ved anvendelse af normtal for tørstofindhold i gylle.....	97
8.9.	Følsomhedsanalyser	99
8.10.	Hovedkonklusioner.....	100
	Litteraturliste.....	102
9.	Samfundsøkonomiske vurderinger.....	103
9.1.	Samfundsøkonomi i relation til rapportens scenarier	104
9.2.	Muligheder for forbedring af samfundsøkonomien.....	105
	Litteraturliste.....	106
	Summary, Conclusions and Perspectives	107

Forord

Denne rapport er udarbejdet som afslutning på projektet: Fremtidens biogasfællesanlæg – nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale. Projektet har modtaget støtte fra Energistyrelsens forskningsprogram Energiforskning 2004.

Projektet er gennemført ved et samarbejde mellem Fødevareøkonomisk Institut - Københavns Universitet, BioCentrum - Danmarks Tekniske Universitet, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet – Århus Universitet, Veterinærinstituttet – Danmarks Tekniske Universitet, Fødevareinstituttet – Danmarks Tekniske Universitet og Dansk Landbrugsrådgivning - Landscentret Planteproduktion.

Projektgruppen har bestået af:

Seniorrådgiver Johannes Christensen, FOI - KU, projektleder
Forsker Kurt Hjort-Gregersen, FOI - KU
Seniorforsker Henrik B. Møller, DJF - AaU
Sektionsleder Dorte Lau Baggesen, Fødevareinstituttet - DTU
Seniorforsker Anders Stockmarr, VET - DTU
Professor Birgitte K. Ahring, BioCentrum - DTU
Ph.d. Hinrich Uellendahl, BioCentrum - DTU
Konsulent Torkild Birkmose - DLBR

Rapportens enkelte afsnit er forfattet af de personer, som er anført ved indledningen til afsnittene. Johannes Christensen, FOI har sammen med projektgruppen redigeret rapporten.

Fødevareøkonomisk Institut
Februar 2007

Søren E. Frandsen

Sammendrag, konklusioner og perspektivering

Seniorrådgiver Johannes Christensen, Fødevareøkonomisk Institut

Projektets hovedformål har været at identificere og analysere nye koncepter for biogasfællesanlæg, der kan være mindre afhængige af tilførsel af biologisk affald, dvs. klare sig økonomisk overvejende på tilførsel af gylle.

Analyserne er gennemført som systemanalyser, hvor anlægskoncepterne vurderes i sammenhæng med landbrugsoplande, hvorved der er opstillet 8 scenarier, heraf 2 referencescenarier. Et uden biogasanlæg, men med gårdseparering for at opnå fosforbalance i oplandet via eksport af fiberfraktion (scenarie 0) og et med et konventionelt biogasanlæg tilknyttet en efterseparering, ligeledes for at komme af med et fosforoverskud (scenarie 1).

De seks øvrige scenarier omfatter:

- 1a. **Serieudrådning** i to reaktortanke **efterseparering** af en del af den afgassede gylle og eksport af fiberfraktionen, så der kan opnås fosforbalance.
- 1b. Almindeligt biogasfællesanlæg, **efterseparering** og **recirkulering** af hele **fiberfraktionen** med følgende udtagning af delstrøm. Eksport af fiberfraktion svarende til fosforbalance.
2. **Forseparering** (på gårdene) af en væsentlig del af svinegyllen. Tilførsel af fiberfraktionen til biogasanlægget og opblanding med den resterende gylle, så der opnås en **tørstofprocent på 10 pct.** Den tynde fraktion forbliver på gårdene og anvendes som gødning. **Efterseparering** af den afgassede gyllemængde og **vådoxidation** af **fiberfraktionen**, løbende udtagning af delstrøm. Eksport af fiberfraktion svarende til fosforbalance.
- 2a. Som 2, men **trykkogning** af fiberfraktion i stedet for vådoxidation.
- 2b. Som 2, men **uden forseparering**, dvs. hele gyllemængden i oplandet tilføres til biogasanlægget.
- 2c. **Forseparering** (på gårdene) svarende til **10 pct. tørstof i input, ingen behandling**, men efterseparering svarende til fosforbalance.

Ved analyserne er forudsat en drift alene på gylle og med en tørstofprocent i gyllen, der svarer til, hvad der kan forventes i praksis. Det vil sige med indhold af større mængder vand end svarende til de officielle normtal.

Der opereres med relativt store anlægskapaciteter. I scenarierne 0, 1, 1a og 1b, hvor der ikke sker forseparering regnes med 700 tons pr. dag, hvilket også svarer til størrelsen af oplandet. I scenarierne 2 til 2c er oplandet 1.000 tons pr. dag, men det er alene i scenarie 2b, at denne mængde tilføres anlægget. I 2, 2a og 2c, hvor der forsepareres, tilføres biogasanlægget kun 480 tons pr. dag, men med 10 pct. tørstof i gennemsnit. De 520 tons udgør den tynde fraktion, der forbliver på gårdene. Dette illustrerer hvilke betydelige vandmængder, der traditionelt køres til og fra biogasanlægget.

Landbrugsmæssigt er scenarierneigestillet forstået på den måde, at der i alle tilfælde er forudsat en eksport af fibre ud af oplandet, så der opnås fosforbalance. Ved regulering af indkøbet af handelsgødning sikres, at afgrødernes gødningsbehov tilgodeses. På denne måde værdisættes den højere N-værdi efter bioforgasning. Der forudsættes samme sædskifte og udbyttenniveau i oplandet ved alle scenarier. Der opnås den sædvanlige effekt af bioforgasningen på kvælstofudnyttelsen, mens der ikke kan forventes en yderligere effekt af separering og de forskellige forbehandlingsteknologier.

Formålet med de skitserede metoder til behandling af gyllen er at opnå et højere gasudbytte. Ved fastlæggelse af udbyttenniveauerne er dels anvendt oplysninger fra litteraturen, dels resultater fra laboratorie og pilotforsøg, der er udført som led i projektet. For de forskellige scenarier er beregnet følgende udbyttenniveauer:

Methanudbytte

Scenarie	Tørstof i input, pct.	Behandling	m ³ methan/ton input
1.	5,4	Ingen	12,1
1a.	5,4	Serieudrødning	13,3
1b.	5,4	Recirkulering af fibre	13,2
2.	10	Vådoxidering af recirkulerede fibre	25,1
2a.	10	Trykkogning af recirkulerede fibre	24,7
2b.	5,4	Vådoxidering af recirkulerede fibre	14,6
2c.	10	Forseparering ingen behandling	20,8

Det fremgår, at langt den største effekt nås ved at opkoncentrere tørstofindholdet via en forseparering. Mellem scenarie 1 og scenarie 2c er der kun forseparering til forskel, hvilket øger udbyttet fra 12,1 til 20,8 m³ methan pr. ton input. Serieudråkning (1a) og recirkulering af fibre (1b) giver en udbytteforøgelse på ca. 10 pct. og vådoxidering af fibre (2b) ca. 20 pct. Højeste udbytte nås, når forseparering kombineres med vådoxidering (2) eller trykkogning (2a), der i forhold til ingen behandling (1) mere end fordobler udbyttet. Via de økonomiske analyser fås svar på, om udbytteforøgelserne står mål med de omkostningsforøgelser, der må påregnes ved opgradering af tørstofindholdet og de forskellige behandlingsteknologier.

Hovedkonklusioner

Nedenstående er vist en oversigt over beregningsresultater fra den driftsøkonomiske analyse.

Omkostninger

Scenarie	Forseparering	Efterseparering	Behandling	Landbrugsdel kr. pr. ton i opland	Biogas- del kr. pr. ton input	System i alt kr. pr. ton i opland
0	+	-	-	49	-	49
1	-	+	-	39	29	68
1a	-	+	Serieudråkning	39	25	65
1b	-	+	Recirkulering af fibre	40	28	68
2	+	+	Vådoxidering af fibre	49	18	58
2a	+	+	Trykkogning af fibre	49	24	60
2b	-	+	Vådoxidering af fibre	39	27	66
2c	+	+	-	50	19	59

I landbrugsdelen indgår omkostninger til opbevaring og udbringning af gylle, gårdseparering samt køb og udbringning af handelsgødning. Endvidere borttransport af overskudsfibre i scenarie 0. I biogasdelen indgår ind- og udtransport af gylle, indtransport af fibre, fjerntransport af overskudsfibre (fosfor), behandling af fibre, efterseparering samt selve biogasanlæggets indtjening og omkostninger.

Nøgletallene er for landbrugsdelen og det samlede system sat i forhold til den samlede gyllemængde i oplandet, mens tallene for biogasdelen er beregnet ud fra den mængde der er tilført anlægget, som er noget lavere i de scenarier hvor der forsepareres. Det er således kun i scenarier uden forseparering, man umiddelbart kan addere landbrugsdel og biogasdel til det samlede system. Under biogasdelen ses isoleret på biogasanlæggets økonomi uden hensyn til de landbrugsmæssige effekter.

Hovedkonklusionerne på den driftsøkonomiske analyse er, at det gennem forseparering og behandling af fibrene er muligt at opnå en forbedret økonomi i det samlede system i forhold til konventionel biogasanlæg (scenarie 1) og derved en mindre afhængighed af tilsætning af affald eller andre højtydende biomasser.

På den anden side er fremgangen i økonomien ikke så stor, at biogasanlæggene bliver økonomisk rentable i forhold til en situation uden biogasanlæg (scenarie 0). I så fald skulle de samlede systemomkostninger ligge under 49 kr. pr. ton gylle i oplandet, og det er ikke tilfældet.

Tre scenarier giver reelt samme resultat; scenarie 2c med forseparering af gyllen, scenarie 2 med vådoxidering og scenarie 2a med trykkogning. Scenarie 2b, hvor der ikke forsepareres, men vådoxideres, er på linie med scenarie 1 traditionelt biogasanlæg. Reelt er det kun serieudrødning (1a) der giver en fordel, blandt de scenarier, hvor der ikke forsepareres.

I de tilfælde, hvor der ikke forsepareres, er landbrugsdelens omkostninger lavere, da biogasdelen overtager omkostningerne ved separering og fjerntransport af overskuds-fibre.

Biogasdelen samlede omkostninger er generelt lavest, når tørstofprocenten er opgraderet til 10 pct., men som det ses, er der et stykke vej, inden nettoomkostningerne bliver nul, og der er mulighed for rentabel drift.

Det må derfor konkluderes, at tilsætning af affald, der kan give nye indtægter i form af højere gasudbytte og modtagegebyr, fortsat er nødvendig. Men for nogle anlægs-koncepter kan en behandling af fibrene med sigte på højere udbytte bidrage til, at kravet om tilsætning af affald vil være mindre.

Følsomhedsanalyser viser, at en nedsættelse af behandlingsomkostningerne via en teknologisk udvikling naturligvis vil kunne give et bidrag, men det er usandsynligt, at man alene ad den vej kan sikre rentabiliteten i biogasfællesanlæg ved drift på gylle alene. Tilsvarende er det usandsynligt, at forbehandlingen kan resultere i så høje udbytter, at der herigennem kan sikres rentabel drift.

Med de antagelser, der er gjort, vil fordelene på landbrugssiden være begrænset. Det hænger sammen med antagelsen om, dels at det er muligt at organisere en forseparering i oplandet uden samtidig at etablere biogasfællesanlæg, dels at det er muligt at

komme af med overskudsfibrene. Holder begge disse antagelser ikke eller hvis der er behov for at få endnu større mængder næringsstoffer ud af oplandet for at tilgodese særlige krav til beskyttelse af naturfølsomme områder, overfladevand og grundvand, kan sagen stille sig meget anderledes.

Det vil sandsynligvis ikke være let at få mange landmænd i et område til samtidig at etablere separering med mindre, fiberfraktionen let kan afsættes. Biogasanlægget kan modtage fiberfraktion og samtidig opgradere tørstoftilførslen og opnå en højere produktion. Problemet for anlægget vil være, at næringsstofferne ikke kan føres tilbage til oplandet, men skal afsættes uden for området til planteavlerne. Det vil givetvis være lettere at organisere afsætningen via biogasfællesanlægget ved en samlet indsats. Muligheden for at afsætte til forbrænding og/eller til yderligere opkoncentrering af næringsstofferne må ligeledes anses for betydeligt lettere med en større samlet mængde til rådighed.

Beregningerne viser ikke disse forhold. Kan scenarie 0 reelt ikke fungere vil omkostningerne her kunne blive langt større og i værste fald skulle beregnes med udgangspunkt i, hvad det koster at reducere husdyrholdet og/eller hvad mindre frihedsgrader i en fortsat strukturtilpasning vil koste.

Det er givet, at der mange steder er problemer med at få omfordelt og afsat husdyrgødningen og i så fald øges biogasfællesanlæggets konkurrenceevne. Men naturligvis kun i den udstrækning som husdyrproducenterne er villige til at betale en behandlingsafgift for gødningen henholdsvis selv bære omkostningerne ved gårdseparering.

Der er ikke udført egentlige samfundsøkonomiske analyser, men gjort nogle vurderinger og ræsonnementer på baggrund af tidligere analyser. Ingen af de behandlede anlægskoncepter eller scenarier vil kunne føre til samfundsøkonomisk rentable løsninger om end nogle af dem vil stå sig bedre end det konventionelle biogasfællesanlæg.

I nogle systemer opnås kraftigt forbedrende gasudbytter, men øgede omkostninger tager en god del af den øgede indtjening og gårdseparering giver anledning til et tab af metan, der omregnet til CO₂ ækvivalenter giver et samfundsøkonomisk tab i forhold til det traditionelle biogasfællesanlægskoncept. Hvad angår nitratudvaskning og reduktion af ammoniakfordampning er vurderingen, at der er relativt lille effekt af de forskellige behandlingsteknologier. I alle fald ikke noget der har væsentlig betydning for samfundsøkonomien.

Samfundsøkonomisk har det også meget stor betydning, at affald ikke indgår på grund af, at ikke uvæsentlige indtægter (omkostninger ved alternativ afsætning af affald til forbrænding, deponi og landbrug) udgår af den samfundsøkonomiske analyse for biogasanlægget.

Eneste mulighed for samfundsøkonomisk rentabilitet i de analyserede scenarier vil ligge i de forhold, der tidligere er omtalt for landbrugssiden, dvs. løsning af de problemstillinger der kan opstå i referencen uden biogasanlæg med at sikre afsætning af overskudsgylle, hvorved det kan blive vanskeligt at opretholde husdyrbestanden henholdsvis sikre mulighederne for en fortsat strukturtilpasning og dermed konkurrenceevnen på længere sigt.

Som en del af projektet er der foretaget veterinære risikovurderinger. Det er første gang, at der i biogasanlæggenes historie sættes tal på risikoen, så denne kan vurderes anlægstyperne imellem. Der er udviklet en matematisk model og fastlagt sandsynligheder for forekomst af smitstoffer i de enkelte led i håndteringskæden og for overførslen af smitstoffer mellem de enkelte led. Resultaterne er angivet som relative risici forstået på den måde, at det konventionelle biogasfællesanlæg med termofil reaktor er sat lig med 1 og de øvrige anlægskoncepter i forhold hertil.

Der opereres med to typer for smitteoverførsel ”marksmitte”, hvorved forstås smitte fra de marker, der har modtaget afgasset gylle, og ”aktivitetssmitte”, der vedrører smitte der spredes med transportmateriel, personer og dyr under selve transporten til biogasanlægget, fra anlægget til marken, ved spredning på mark samt ved udkørsel af tynd fraktion efter gårdseparering.

Resultaterne vil afhænge af om ”marksmitten” eller ”aktivitetssmitte” er den primære kilde. Er ”marksmitten” den primære kilde opnås en betydelig effekt af de forskellige behandlingsteknologier målt i forhold til situationen uden biogasanlæg. Er ”aktivitetssmitte” den dominerende er effekten betydeligt mindre. Baseret på erfaringer vurderes det, at et scenarie med størst vægt på ”marksmitte” er det bedste udtryk for virkeligheden.

Serieudrådning står relativt stærkt i forhold til det almindelige biogasanlæg og i forhold til trykkogning og vådoxidation. Det skyldes blandt andet, at de to sidstnævnte teknologier er kombineret med forseparering på gårdene, der giver en ekstra smitterisiko, især hvis ”marksmitten” tillægges stor vægt.

Indførelse af biogASFællesanlæg og de forskellige behandlingsteknologier giver ikke automatisk en bedre tilstand, hvad angår spredning af smitte. Det vil afhænge af om de udstukne regler for hygiejnisering omkring transport og overførsel mellem de enkelte led i håndteringskæden overholdes. Sker det har biogasanlæg og teknologien til behandling af fibrene en absolut god smittereducerende effekt.

Perspektiver for biogasbranchen

Tiltag, der kan forbedre økonomien i biogasanlæg, må naturligvis have interesse for dem som i praksis driver biogasanlæg, dem der planlægger opførelse af nye anlæg, anlægsleverandørerne og rådgiverne.

Nogle af projektets resultater er endnu så usikre, at der ikke uden videre kan ske anbefaling om praktisk anvendelse. For vådoxidering og trykkogning er der i høj grad behov for yderligere forskning, udvikling og afprøvninger inden disse teknologier kan anbefales til praktisk brug. Dette hænger sammen med, at der er tale om teknologier, der kræver betydelige investeringer, og der er stor usikkerhed om mange parametre som fx effekt på udbytte, driftsstrategi og driftsomkostninger. Det potentiale, som disse teknologier trods alt viser, åbner på den anden side for en anbefaling om at bygge anlæg i pilotskala til en praksisnær afprøvning. Dette kunne ske i tilknytning til det fuldskalaforsøgsanlæg, som opføres ved Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet i Foulum.

Andre af projektets resultater ligger noget tættere på en praktisk anvendelse. Der er en god effekt ved forseparering på gårdene og derigennem en opgradering af tørstofprocenten før indlægning i biogasanlægget. Dette gælder især, hvis landmændene vil afholde omkostningerne ved separeringen mod at få de fordele, dette kan indebære i relation til at kunne holde flere dyr på et givet areal og lettere komme af med overskydende fosformængder.

Der er startet afprøvning af staldseparering og viser denne gode resultater, vil omkostningerne ved separeringen måske blive mindre end her antaget. Der burde ikke være noget i vejen for, at afsætningen af fiberfraktionen kunne ske også til allerede etablerede biogasanlæg.

Eftersepareringen på biogasanlægget kan foretages uanset om der forsepareres eller ej. Efterseparering skal ses som et led i recirkuleringen af fibre, dels som et led i bortskaffelsen af overskydende næringsstoffer især fosfor. Enten til planteavlere, der lig-

ger uden for det område som biogassfællesanlægget dækker, eller til forbrænding eller yderligere koncentration af næringsstofferne. Fordelen er her, at man råder over en større samlet mængde, og separeringen vil være billigere pr. ton end ved gårdseparering.

Serieudrådning eller forlænget opholdstid eventuelt i kombination med forseparering burde også være relativt nemt at implementere i praksis forudsat, at biogasanlægget er udstyret med flere reaktorer eller har overskydende kapacitet. Sidstnævnte kunne opnås netop via forsepareringen, hvor den tynde del af gyllen forbliver på gårdene og frigør kapacitet i reaktoren.

Som tidligere omtalt er der ikke meget, der tyder på, at man ved separering og forbehandling af fibre kan gøre biogassfællesanlæg rentable ved drift alene på basis af gylle under danske forhold. Men projektet viser dog, at det er muligt at komme tættere på en sådan situation. Derved blive anlæggene mere robuste i forhold til svigt i affaldsleverancer. Kan affaldsleverancerne opretholdes som hidtil, vil økonomien blive yderligere forbedret.

1. Indledning

Seniorrådgiver Johannes Christensen, Fødevareøkonomisk Institut

1.1. Baggrund

Siden først i 1980'erne er der i Danmark sket en udbygning med biogasanlæg baseret på husdyrgødning. Der er bygget såvel større fællesanlæg som mindre gårdanlæg. I dag er i alt 20 fællesanlæg og ca. 60 gårdanlæg i drift. Nogle gårdanlæg får leverancer af gødning flere steder fra og grænsen mellem, hvad der er gårdanlæg og hvad der er fællesanlæg, kan være flydende.

Hidtil har driften af anlæggene været baseret på en iblanding af biologisk industriaffald overvejende fra fødevareindustrien. Dette har været en forudsætning for at få økonomi i anlæggene under de gældende vilkår. Gasproduktionen øges, og der opnås et modtage/behandlingsgebyr. Der findes dog affaldstyper, der er så højt ydende, at de opnår en pris i markedet. I stedet for at få et modtagegebyr betaler anlægsejeren en pris for affaldet. Det er navnlig gårdanlæggene, der benytter denne type affald. Til sammen behandler fællesanlæg og gårdanlæg ca. 1,5 mio. tons gylle og ca. 0,3 mio. tons affald.

Med disse anlæg er det i vidt omfang lykkedes at forene energimæssige, landbrugsmæssige, miljømæssige og industrielle interesser.

Biogas er en vedvarende energikilde, der bidrager til reduktion af CO₂ emissionen. Med til CO₂ emissionen kan regnes en reduktion i udslip af metan og lattergas i forhold til konventionel håndtering af husdyrgødningen.

For landbruget opnås, at den afgassede gødning har større indhold af ammoniumkvælstof, der er tilgængeligt for planterne og ved fællesanlæggene fås en blandingsgødning med bedre forhold mellem fosfor og kalium i forhold i planternes behov. Fællesanlæggene udgør tillige en "gødningsbank", hvor det er muligt at foretage omfordeling af gødningen fra husdyr- til plantebedrifter evt. kombineret med, at lagrene placeres decentralt ved de marker, hvor gødningen anvendes. Det er tillige muligt at certificere gødningen, så indholdet af næringsstoffer er kendt.

Lugtgener og sygdomskim reduceres væsentligt gennem forgasningen, hvilket er en fordel både for landmanden og hans naboer.

For industrien ligger fordelene, dels i at det biologiske affald bliver omsat på miljøvenlig måde og næringsstofferne recirkuleres, dels i at industrien er leverandør af anlæggene og derved skaber økonomisk aktivitet og beskæftigelse.

Anlæggene løser således problemer både for erhvervslivet og for samfundet. Den samfundsmæssige interesse giver sig udslag i støtte til forskning og udvikling og en støtte i form af afgiftsfritagelse for varme baseret på biogas samt et tilskud til elproduktion. Tidligere blev der også givet et anlægstilskud og kommunerne ydede en lånegaranti til fællesanlæggene.

På denne baggrund har der officielt været forventninger om, at der ville ske en større udbygning med biogasanlæg i Danmark. Men udbygningen sker i dag relativt langsomt både hvad angår fællesanlæg og gårdanlæg.

I flere tilfælde har det vist sig vanskeligt eller umuligt at finde en placering af anlægget, der har kunnet opnå myndighedernes (og naboernes) godkendelse. Der er frygt for, at anlægget skaber lugtgener ligesom tung transport heller ikke er populært. Transport til og fra anlægget kan vanskeligt undgås, mens lugtgenerne kan reduceres væsentligt med passende foranstaltninger.

Markedet for affaldsprodukter er i dag presset, idet eksisterende anlæg lægger beslag på størstedelen af de mængder, der er til rådighed. Da det er vanskeligt at få økonomi i anlæggene uden tilførsel af affald, er nye affaldstyper blevet anvendt. Den øgede efterspørgsel har betydet en øget pris for affaldet, hvilket omvendt reducerer den økonomiske fordel for anlæggene.

Gennem vandmiljøplanerne, ammoniakhandlingsplanen og EU's Vandrammedirektiv til beskyttelse af overfladevand og grundvand samt Habitatsdirektivet omkring naturbeskyttelse lægges der et stigende pres på landbruget for at sikre en miljørigtig udnyttelse af husdyrgødningen.

Dette kommer til udtryk i harmonibestemmelser, ejerkrav til areal, krav om N-udnyttelse, krav til indretning af gødningsanlæg og miljøgodkendelse ved udvidelser eller nyanlæg af husdyrbrug. De skærpede krav mærkes primært i husdyrtætte områder og i områder med miljøfølsomme arealer. Reguleringerne har hidtil overvejende været rettet mod kvælstof, men på det seneste er der tillige blevet stor opmærksomhed om fosforudnyttelsen.

Forståeligt nok er landmændenes interesse for biogasanlæg blevet knyttet sammen med disse miljøbetingende reguleringer, således som det også hidtil har været tilfældet. Men kravene er nu skærpet og er mere end blot at skaffe bedre lagringsfaciliteter og bedre lokal omfordeling af næringsstoffer. Det drejer sig nu også om at få overskydende næringsstoffer ud af lokalområdet enten til anvendelse i andre områder med betydelig transportomkostninger til følge eller til bortskaffelse via afbrænding og/eller opgradering til handelsgødning.

Derved får områdets husdyrproducenter flere frihedsgrader i tilpasningen af deres bedrifter, hvilket generelt er vigtigt for at kunne opnå størrelsesøkonomiske fordele og sikre konkurrenceevnen. Der er med andre ord ønske om, at et biogasanlæg samtidig udvikles til et egentligt gødningsbehandlingsanlæg. Hvordan det skal ske, har man endnu ikke fundet det endelige svar på.

De skærpede krav til næringsstofudnyttelsen kolliderer med at tilføre næringsstofholdigt biologisk affald. I forvejen er der måske for mange næringsstoffer i området og import af nye næringsstoffer forstærker afsætningsproblemerne.

Kravene til finansieringen af anlæggene er blevet skærpet. Tidligere gav det offentlige et anlægstilskud, som indgik i finansieringen som egenkapital, hvorved resten kunne lånefinansieres eventuelt ved hjælp af en kommunegaranti. I dag skal interessenterne bag anlægget selv skaffe en langt større egenkapital, før man kan gøre sig håb om finansiering af resten via realkredit og/eller pengeinstitut.

Endelig har det haft betydning, at tilskuddet til el-produktion er mindre gunstigt end tidligere. I dag opnås 60 øre pr. kWh de første 10 år og derefter 40 øre. Prisen er politisk fastsat og ureguleret både hvad angår inflation og kommende markedspriser. Både biogasbranchen og de enkelte producenter vurderer, at de økonomiske vilkår ikke er tilstrækkeligt attraktive for opførelse af nye anlæg.

1.2. Projektets formål

På denne baggrund er projektets hovedformål at identificere og analysere nye koncepter for biogasfællesanlæg fra gylle således, at anlæggene kan gøres økonomisk mindre afhængige af tilførsel af affald. Dels er affald en knap ressource, som der nu i vidt omfang skal betales for, dels vil det af hensyn til afsætning af husdyrgødningen i mange tilfælde være en fordel at slippe for de ekstra næringsstoffer, som affaldet bringer med sig.

Et andet hovedformål med projektet er at styrke de landbrugsmæssige fordele ved biogasfællesanlæggene, således at disse i videst muligt omfang kan bidrage til en økonomisk effektiv fordeling og udnyttelse af næringsstofferne i husdyrgødningen set i lyset af de skærpede krav på dette område. Dette skal ske under hensyntagen til den veterinære standard i gødningshåndteringen, således at mulighederne for yderligere reduktion af sygdomskim udnyttes og at utilsigtet smittespredning undgås.

Disse hovedformål afleder følgende delmål:

- Identifikation af teknologier til forbehandling, separering og recirkulering der kan danne grundlag for nye anlægskoncepter.
- Formulering af nye anlægskoncepter og hvorledes disse kan indgå i en landbrugssammenhæng.
- Formulere fuldskalasystemer og beskrive massebalancer i sammenhæng med landbrugsoplande og afsætningsmuligheder for næringsstoffer.
- Udvikle veterinære risikomodeller til brug for vurdering af smitterisici for anlægskoncepter og gødningsomsætning.
- Udvikle et driftsøkonomisk modelapparat til sammenlignende analyser af anlægskoncepter og under samtidig hensyntagen til de landbrugsmæssige forhold.
- Vurdere de miljømæssige effekter og konsekvenserne for samfundsøkonomien ved anvendelse af nye anlægskoncepter.

Denne rapport, der er projektets hovedrapport, er koncentreret om at beskrive anlægskoncepter og systemer og vise resultater af driftsøkonomiske analyser. Dertil kommer resultater af de veterinære risikoanalyser, samt en vurdering af miljøeffekter og konsekvenserne for samfundsøkonomien.

Som led i projektet er der foretaget laboratorie- og pilotforsøg i tilknytning til at identificere egnede teknologier til forbehandling, separering og recirkulering og fastlægge input-output relationer. Disse studier afrapporteres særskilt. Det samme gælder udviklingen af veterinære risikomodeller og fastlæggelse af sandsynligheder for spredning af smitte.

1.3. Projektets gennemførelse

Projektet er et tværfagligt projekt, der er gennemført af følgende parter:

- Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet

- BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet
- Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret Planteproduktion
- Veterinærinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet
- Fødevarerinstitutionen, Danmarks Tekniske Universitet
- Fødevarerøkonomisk Institut, Københavns Universitet

Det Jordbrugsfaglige Fakultet og BioCentrum har i fællesskab varetager opgaverne omkring teknologier til forbehandling, separering og recirkulering og formulering af nye anlægskoncepter, herunder laboratorieforsøg og pilotafprøvninger, fastlæggelse af input-output relationer og opstilling af massebalancer. Endvidere emissioner af CO₂, metan og lattergas.

Dansk Landbrugsrådgivning har defineret og beskrevet landbrugsoplande og fastlagt næringsstofforsyning i relation til sædskifter og forsyning med næringsstoffer via husdyrgødning og handelsgødning. Endvidere fastlæggelse af N-udslip ved nedsivning og via ammoniakfordampning.

Veterinærinstituttet har sammen med Fødevarerinstitutionen udviklet model til veterinær risikoanalyse og har fastlagt relative sandsynligheder for smittespredning og gennemført risikovurderinger for de forskellige koncepter for biogasfællesanlæg og landbrugsoplande.

Fødevarerøkonomisk Institut har udviklet en driftsøkonomisk model og har koordineret systembeskrivelser og datafremskaffelse. Der er fastlagt investeringer, priser, indtægter og omkostninger til de driftsøkonomiske analyser. Der er endvidere foretaget vurdering af betydningen for samfundsøkonomien. Instituttet har varetager projektlelsen.

Forord for hovedrapporten er udarbejdet et Working Paper no. 4/2006 med samme titel som hovedrapporten og udgivet af Fødevarerøkonomisk Institut.

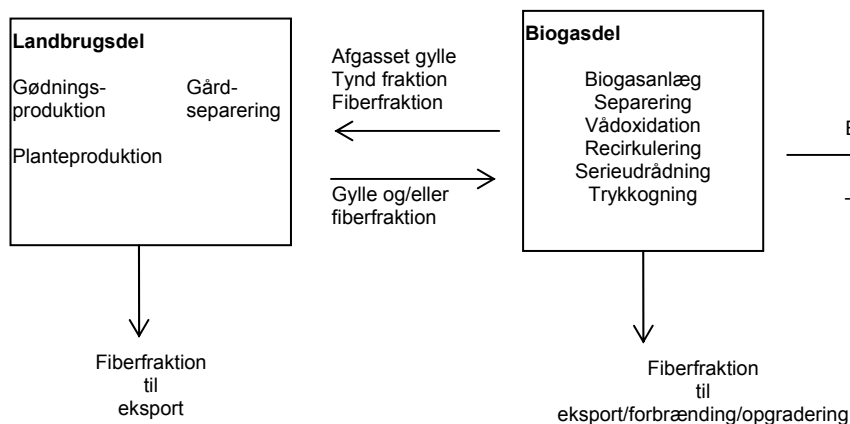
Formålet med dette Working Paper har været dels at spore sig ind på emnet og dets mange forskellige problemstillinger, dels at gennemføre en række indledende analyser med sigte på at udvælge de mest lovende anlægskoncepter, som efterfølgende er gjort til genstand for yderligere analyser både på laboratorieniveau og via det modelapparat, der er opbygget.

Det videregående arbejde har ført til en del ændringer. Der er for det første sorteret anlægskoncepter fra, som blev anset for mindre relevante, ligesom der er tilføjet enkelte nye koncepter. Input-output relationerne er revideret, hvilket har medført at nogle anlægskoncepter nu er mindre gunstige end først antaget. Det samme gælder for omkostningerne ved forbehandlingen, der dog fortsat er præget af stor usikkerhed, da der er tale om en ny teknologi.

Der er både i det nævnte Working Paper og i hovedrapporten taget udgangspunkt i hidtidige anlægskoncepter for biogASFællesanlæg således, som de er beskrevet i rapport nr. 136, 2002. Samfundsøkonomiske analyser af biogASFællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser samt rapport nr. 150, 2003 Økonomien i biogASFællesanlæg – udvikling og status medio 2002. Begge rapporter er udgivet af Fødevarøkonomisk Institut.

Der formuleres en model over de systemer og koncepter, der ønskes belyst. Modellen har dels en landbrugsdel, dels en biogasdel som skitseret i figur 1.1.

Figur 1.1. Skitse af systemmodel



I modellens landbrugsdel beskrives husdyrproduktionen og den afledte gødningsproduktion inden for et oplandsområde af varierende størrelse. I området antages der at være balance mellem produktion og afsætning af gødning i henhold til harmonireg-

lerne, som er defineret ved kvælstofproduktion og omsætning. Der vil normalt forekomme en overgødsning med fosfor. I modellen forudsættes, at der skal være balance mellem tilførsel og planternes behov for fosfor.

En sådan balance kan kun opnås ved at eksportere en vis mængde næringsstoffer ud af området. Dette kan ske direkte eller efter behandling i biogasanlægget. Tilførslerne til biogasanlægget kan være i form af gylle og/eller fiberfraktion efter gårdseparering. Den tynde fraktion fra gårdsepareringen lagres og anvendes altid inden for området. Fra biogasanlægget modtager landbrugsområdet afgasset gylle, tynd fraktion og/eller en fiberfraktion.

Alt efter hvilke næringsstoffer og kombinationer af næringsstoffer der fraføres eller tilføres landbrugsområdet, vil der være behov for at supplere med handelsgødning, således at der kan opretholdes den samme planteproduktion, uanset hvilket behandlingskoncept og eksport og import på næringsstofsiden der anvendes. Der søges altid anvendt så meget næringsstof fra husdyrgødningen som muligt inden for området, så indkøb af handelsgødning minimeres.

I modellens biogasdel kombineres forskellige teknologier primært med sigte på at øge gasproduktionen, men også for at minimere transportomkostningerne ved eksport af næringsstoffer. Biogassen antages fuldt ud at kunne afsættes til lokal kraft-varme produktion. Input til biogasanlægget vil være gylle eller en kombination af gylle og fibre fra en separering, der foretages på gårdene. Ideen med at tilføre fibre er at øge tørstoftilførslerne og dermed produktionseffektiviteten på biogasanlægget. Dette giver vidt forskellige masseflow for næringsstofferne som den valgte model holder styr på og afbalancerer.

Økonomien i de forskellige koncepter opgøres for landbrugsdelen og biogasdelen for at kunne forklare forskelle i indtjening og omkostninger og forskelle i incitamenter landmænd og biogasselskab imellem. Ved sammenlægning af de to økonomier kan det samlede systems rentabilitet vurderes. Der tages i denne sammenhæng ikke stilling til organisatoriske og finansielle problemstillinger og heller ikke til, hvordan eventuelle overskud skal fordeles mellem parterne. I første omgang er fokus rettet på potentielle merværdier for det samlede system og ved alternative udformninger.

Det skal understreges, at de teknologier analyserne er baseret på er nye og helt eller delvis uprøvede i fuldskala drift. Det betyder, at analyseresultaterne er omgærdet af en særlig usikkerhed, som kan belyses via følsomhedsanalyser, men som reelt kun

kan fjernes ved praktisk afprøvning i større skala. Formålet med analyserne er derfor at indkredse under hvilke forudsætninger forskellige anlægskoncepter kan være perspektivrige for en fremtidig udvikling af biogasteknologien set i lyset af affaldssituationen og landbrugets behov for en ny miljøteknologi.

2. Forøgelse af biogasudbytte fra gylle

Seniorforsker Henrik B. Møller, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet

Ph.d. Hinrich Uellendahl, BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet

Professor Birgitte K. Ahring, BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet

2.1. Grundprincipper

Husdyrgødning har et relativt lavt biogasudbytte omkring 25 m³/ton pga. dens høje vandindhold og ligninstrukturen af gyllens fiberfraktion, som gør den svært omsættelig. Gyllens tørstofindhold er i gennemsnit lavere end ”normerne” (se kapitel 4) og i praksis vurderes indholdet til 8 pct. for kvæggylle og 4,5 pct. for svinegylle på baggrund af analyser fra Lemvig Biogasanlæg. Fiberfraktionen indeholder 60-80 pct. af det organiske materiale i gyllen og omsætningen i et traditionelt biogasanlæg er ofte kun 30-50 pct. af potentialet.

Nøglen til en økonomisk drift af fællesanlæggene på gylle er at øge dens biogaspotentiale til mere end 30 m³/ton. De i den foreliggende rapport beskrevne nye koncepter skal muliggøre det efter to principper:

- (1) at opkoncentrere gyllens organiske biomasse
- (2) at forøge omsætning og dermed biogasudbyttet af fibermateriale

Gennem opkoncentreringen øges indholdet af organiske biomasse per ton og dermed øges biogasudbyttet per ton. Opkoncentrering sker igennem ”gård” separering af en del af den gylle, som behandles på biogasfællesanlægget.

En øget omsætning af fiberfraktionen kan opnås gennem

- (a) forøgelse af opholdstiden af fibermateriale i reaktoren og
- (b) opspaltning af fibreens ligninstruktur ved en forbehandling.

Opholdstiden i reaktoren kan forøges enten gennem en mindre flow i reaktoren, en større reaktorvolumen (forlængelse af den hydrauliske opholdstid, HRT) eller gennem tilbageføring af efterseparerede fibre eller serieudrådning (forlængelse af opholdstiden af det partikulære materiale, SRT). De forskellige forbehandlingsmetoder har hovedsageligt en effekt på den svært omsættelige fiberfraktion i gyllen.

2.2. Metoder til opkoncentrering

Især decantercentrifugering og kemisk fældning (Kemiras system) omtales. Altså de to metoder der arbejdes videre med. Der opstilles nøgletal for de to metoder.

Der findes en række mekanisk-fysiske metoder til separering af gylle, der spænder fra meget simple teknikker som sigter, skruepresser og sibånd, hvor der sker en meget begrænset opkoncentrering, til mere effektive metoder som dekantercentrifuger (Møller et al. 2000; Møller et al. 2002). Kemisk behandling i kombination med mekanisk-fysisk separering er en metode til at øge udskillelsen af næringsstoffer til den faste fraktion.

Dekantercentrifuger virker ved, at gylle udsættes for en stor centrifugal kraft i en tromle der roterer med høj hastighed, typisk 3-4000 rpm, hvorved gyllens partikler sedimenterer i tromlens periferi og løbende kan fjernes med en skrue der roterer. En dekantercentrifuge producerer en tørstofrig fraktion, der indeholder størstedelen af gyllens fosfor, organisk kvælstof, svovl m.m., og en ”væskefraktion”, der indeholder størstedelen af gyllens ammoniumkvælstof og kalium (Møller mfl. 2002). Energiforbruget ved anvendelse af en dekantercentrifuge er beskedent, typisk 3 kwh/ton gylle.

Der kan endvidere anvendes kemiske tilsætningsstoffer til forbedring af separerings-effektiviteten af gylle. Ved anvendelse af kemikalier koagulerer partiklerne og til yderligere sammenhæftning af de dannede kolloider i større flokke tilsættes ofte en polymer (Westerman & Bicudo, 1998). Kemira Miljø markedsfører et system til kemisk fældning af gylle.

Hvor stor en effekt man kan opnå af at separere husdyrgødningen i en fast og en flydende del afhænger af gødningens fysiske og kemiske sammensætning, især andelen af store og små partikler, samt den anvendte separeringsteknologi. Effektiviteten i opkoncentreringen med dekantercentrifuger er høj for organisk stof (50-70 pct.) og fosfor (50-80 pct.), men for total kvælstof er effektiviteten ringe (11-28 pct.). Effektiviteten på opkoncentreringen af næringsstoffer ved kemisk fældning er høj for organisk stof (80 pct.), fosfor (89 pct.) og organisk kvælstof, men beskedent for total kvælstof (40 pct.).

Det vurderes, at kemisk fældning med fordel kan anvendes til for-separering på gårdene, eftersom effektiviteten ved separering af organisk stof er højere end ved centrifuger. Udstyret kan endvidere tilpasses mindre mængder uden væsentlige ekstra om-

kostninger. På biogasanlægget vurderes det, at en dekantercentrifuge er den bedste teknik, eftersom der er væsentlige økonomiske stordriftsfordele forbundet med centrifuger (Møller mfl. 2000).

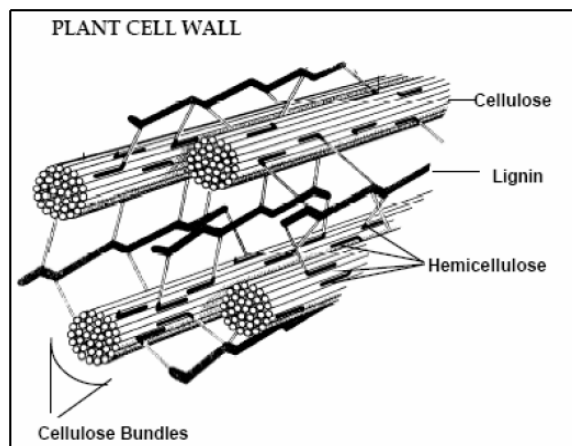
2.3. Reduktion af vandtilsætning

Det lave tørstofindhold i gyllen der findes i praksis skyldes større vandspild fra drikkeanlæg og større tilledning af vaskevand end forudsat i normtallene. Reduktion af vandtilførsel vil sandsynligvis kunne ske ved en indsats fra landmandens side, såfremt de økonomiske incitamenter er til stede. Fra Holland er der erfaringer der viser, at tørstofindholdet vil kunne øges udover de danske normer.

2.4. Metoder til forbedret omsætning af fibermaterialer

Formålet med enhver forbehandling af fiberholdig biomasse er at nedbryde biomasens struktur, som er designet til at støtte planten og modvirke mikrobielle angreb. De dele af planten, som ikke er selve frøet/frugten, består af forskellige makromolekyler: cellulose, hemicellulose og lignin, og betegnes derfor som den lignocellulære biomasse (figur 2.1). Cellulose og hemicellulose er polymerer af suktermolekyler, som kan fermenteres enten til ethanol eller omsættes til metan under anaerobe forhold. Den amorfe eller krystallinske struktur af makromolekylerne resulterer i en reduceret nedbrydning. Opspaltning af strukturen kræver en række enzymer med forskellige funktioner. Den største hindring for nedbrydningen er dog ligninlaget, som findes rundt om cellulosen og hemicellulosen og derved forhindrer enzymerne i at få kontakt hermed. Lignin er en polymer med en kompleks netstruktur som indeholder bl.a. polyaromatiske ringe. Det gør strukturen stiv, giver styrke og den aromatiske natur er antibakteriel. Ligninmolekylet kan ikke nedbrydes under anaerobe forhold, men sidekæder og ender af strukturen kan nedbrydes i begrænset omfang. For at gøre den indkapslede cellulose og hemicellulose tilgængelig for mikroorganismer er det derfor nødvendigt at bryde ligninlaget.

Figur 2.1. Lignocellulære plantevæggestruktur (Shleser, 1994)



2.5. Mulige forbehandlingsmetoder

Forskellige forbehandlingsmetoder er blevet afprøvet til halm og gyllens fiberfraktion (se bl.a. Fan et al., 1982; Gharpuray et al., 1983; Grethlein, 1984; Hartmann et. al. 2000; Hobson and Wheatley, 1993). De forskellige metoder kan inddeles i fysiske, kemiske og biologiske metoder. Fysiske metoder er baseret på en temperaturforøgelse eller en metode til mekanisk nedbrydning/neddeling af ligninmolekylet. Tilsætning af syre eller base er de mest afprøvede kemiske metoder, som især fører til en opsvulmning af materiale. Ved biologiske metoder tilsættes enten enzymer eller bestemte mikroorganismer, som er i stand til at angribe lignin eller nedbryde andre dele af biomassen.

2.6. Metodernes effektivitet i relation til øget gasudbytte

Hver enkelt forbehandlingsmetode har sine fordele og ulemper. Med bl.a. støtte fra Energiforskningsprogrammet (EFP) er der gennem en årrække blevet forsket på DTU i forskellige forbehandlingsmetoder med det formål at lave bioethanol hhv. biogas af lignocellulære biomasser (EFP projekt 1993,. EFP 1383/95-0002, EFP 731327/98-0005). Det viste sig, at termiske forbehandlingsmetoder er mest fordelagtige, fordi forøgelsen af udbyttet af bioethanol hhv. biogas er stor, mens der kun i mindre grad dannes stoffer som virker inhiberende på nedbrydningen. De termiske forbehand-

lingsmetoder fører til brydning af de beskyttende ligninlag og af cellulosestrukturen, så byggestenene i cellulosen – sukrene – bliver tilgængelig til omsætning gennem mikroorganismerne.

Trykkogning ved 125 – 170 °C har i flere undersøgelser vist sig at have en stor forøgende effekt på nedbrydning af lignocellulose med efterfølgende større biogasproduktion. Ved behandling af fibre separeret fra svinegylle vha. kemisk fældning forventes biogasudbyttet at øges fra 0,3 til 0,35 m³CH₄/kg-VS. Vådoxidation er en metode, som er udviklet de seneste år. Den har vist sig at være den mest effektive proces til at åbne ligninstrukturen og gøre cellulosen og hemicellulosen tilgængelig (Lissens, 2004). Vådoxidation er baseret på kogning ved højt tryk under samtidig tilførsel af ilt og efterfulgt af et pludseligt trykfald (flash).

Vådoxidationen, som er udviklet af Cambi Bioethanol sammen med BioCentrum-DTU, kan håndtere materiale med op til 30 pct. tørstof, og resulterer i meget høje sukkerudbytter, som efterfølgende kan omsættes til bioethanol eller metan. Derudover frigøres lavmolekylære ligninprodukter, som kan også omdannes til metan. Vådoxidationsprocessen vil derfor give mulighed for en bedre omsætning af hele lignocellulosedelen i biogasanlæg. Biogasudbyttet af fibre, separeret vha. kemisk fældning, fra svinegylle øges til 0,36 m³CH₄/kg-VS efter vådoxidationen.

I de forsøg, der er gennemført af DTU i løbet af projektet, viste det sig, at vådoxidationen forøgede metanudbyttet af gylle med 25-30 pct., mens forøgelsen på selve fiberfraktionen var op til 100 pct. (se Working Paper FOI 4/2006). Separeringsforsøg påviste, at fiberfraktionen fra kvæg- hhv. svinegylle efter dekantercentrifuge havde et metanudbytte på 0,15 hhv. 0,2 m³CH₄/kg-VS. Metanudbyttet blev for fibre fra begge gylletyper øget til 0,29 m³CH₄/kg-VS efter vådoxidation, dvs. en forøgelse på 45 pct. ved behandling af fibre fra svinegylle og 93 pct. for fibre fra kvæggylle. Separering vha. kemisk fældning viste, at der udover selve fiberfraktionen overføres en stor del af det opløste organiske materiale til den faste fraktion. Derfor er metanudbyttet på den ubehandlede fiberfraktion fra kemisk fældet svinegylle på 0,3 m³CH₄/kg-VS i samme størrelsesorden som i rågylle.

**Figur 2.2. Vådoxidationsanlæg i pilot skala på BioCentrum-DTU
(reaktor til højre, flash tank til venstre)**



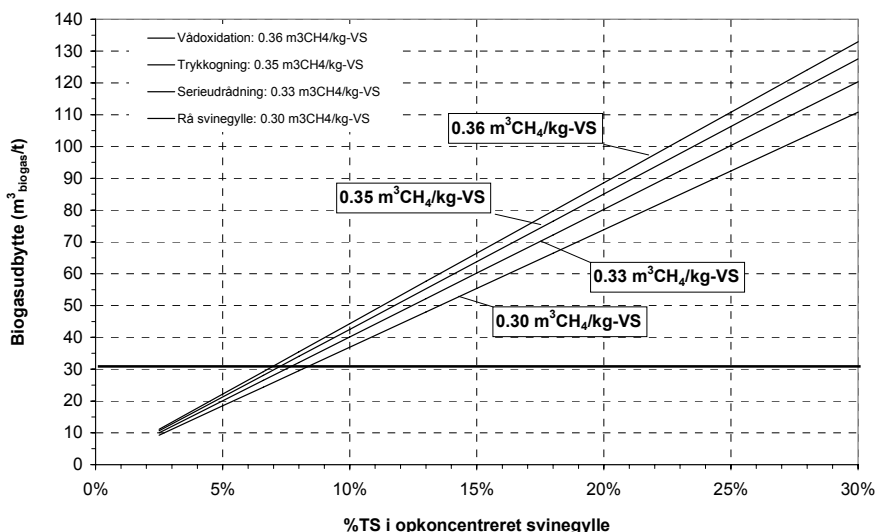
Tabel 2.1 viser en oversigt over de forventede metanudbytter ved de forskellige forbehandlinger af fiberfraktionen fra svinegylle. Det antages, at forbehandlingen kun har en effekt på fiberfraktionen F1 med partikelstørrelse $> 100 \mu\text{m}$ (som separeres fra vha. en centrifuge) men ingen effekt på de mindre partikler (fiberfraktion F2 $< 100\mu\text{m}$) som overføres til den faste fraktion ved kemisk fældning. De angivne værdier er grundlag for modelberegningerne i de forskellige koncepter.

Tabel 2.1. Forøgelse af metanudbytte i den faste fraktion af svinegylle separeret vha. centrifugering hhv. kemisk fældning efter forskellige forbehandlingsmetoder; ved centrifugering separeres kun fiberfraktionen F1 med en partikelstørrelse > 100 µm, mens der derudover separeres mindre partikler (fiberfraktion F2, $VS_{F2}/VS_{F1+F2} = 35$ pct.) ved kemisk fældning

Forbehandling	Forøgelse af CH ₄ udbytte af fibre	Metanudbytte på fiberfraktion F1 > 100µm	Metanudbytte på fiberfraktion F2 < 100µm	Metanudbytte af kemisk fældet fibre
		m ³ CH ₄ /kg-VS _{F1}	m ³ CH ₄ /kg-VS _{F2}	m ³ CH ₄ /kg-VS
Ingen	0 pct.	0,20	0,49	0,30
Findeling	7 pct.	0,21	0,49	0,31
Forlænget opholdstid	20 pct.	0,24	0,49	0,33
Serieudrødning	20 pct.	0,24	0,49	0,33
Trykkogning	35 pct.	0,27	0,49	0,35
Vådoxidation	46 pct.	0,29	0,49	0,36

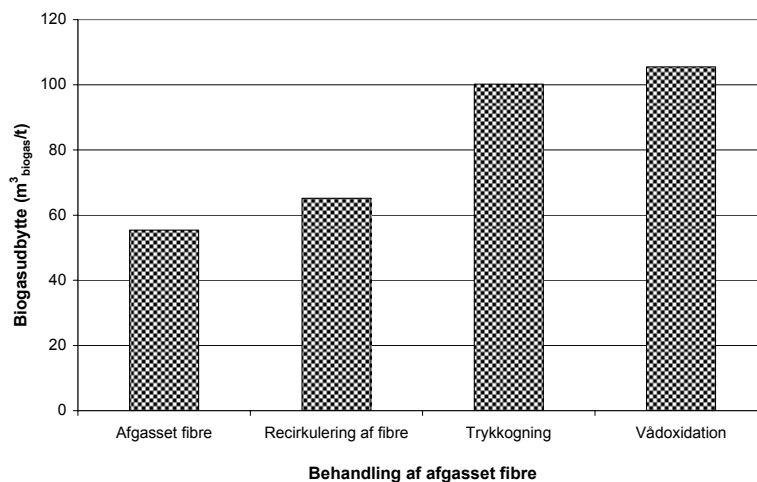
Den samlede effekt af opkoncentrering og øget omsætning af fiberfraktionen i svinegylle separeret vha. kemisk fældning er vist i figur 2.3. Ved antagelsen om, at både den partikulære og den opløste organiske fraktion opkoncentreres vha. kemisk fældning medfører en opkoncentrering til 30 pct. TS alene en forøgelse af biogaspotential til ca. 110 m³/ton. Figuren viser derudover, at effekten af den øgede omsætning af fiberfraktionen efter forskellige forbehandlinger bliver større jo højere TS hhv. VS koncentrationen er.

Figur 2.3. Forøgelse af biogasudbyttet per ton svinegylle ved opkoncentrering vha. kemisk fældning og gennem forøgelsen af biogasudbytte per kg partikulært organisk materiale efter forskellige forbehandling (serieudråkning, trykkogning, vådoxidation); forudsætninger: VS/TS = 80 pct., biogasudbytte af fiberfraktionen fra svinegylle efter kemisk fældning: $0,30 \text{ m}^3/\text{kg-VS}$, CH_4 pct. i biogas: 65 pct.

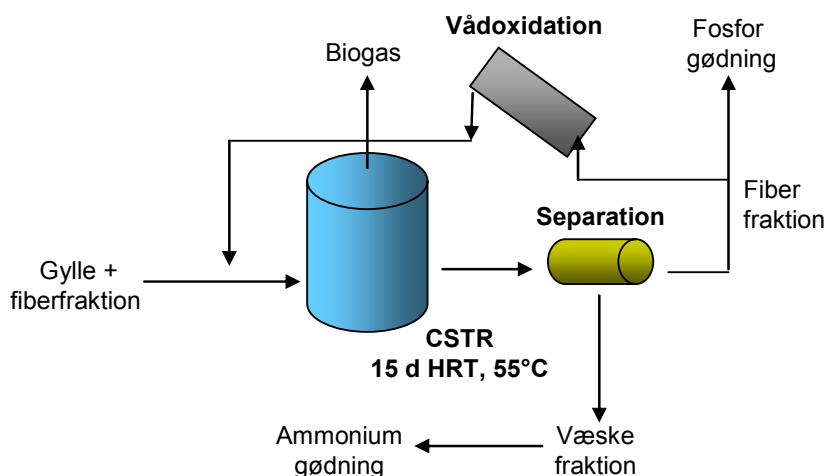


Da vådoxidationen har en positiv effekt på den partikulære tørstoffraktion, og især på dens ligninindhold, er det mest fordelagtig kun at behandle den separerede faste fraktion af gylle. Effekten er størst ved udelukkende at behandle den udrådnede fiberfraktion, hvor der kun er de ikke-nedbrydelige fibre tilbage, som kræver en forbehandling for at gøre dem nedbrydelige. Metanudbyttet af de efterseparerede fibre på omkring $0,15 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg-VS}$ er betydelig mindre end i de friske fibre. Figur 2.4 viser tydeligt, at forøgelsen af biogaspotential af de efterseparerede fibre ved trykkogning eller vådoxidationen er betydelig højere end ved behandling af den kemisk fældede fiberfraktion fra ubehandlet gylle. Derfor er implementering af vådoxidationen af de efterseparerede fibre og recirkulering af den vådoxiderede fraktion sammen med gyllen i reaktoren en af de mest lovende metoder (figur 2.5).

Figur 2.4. Forøgelse af biogasudbyttet per ton fibre separeret vha. dekantercentrifuge fra afgasset gylle gennem hhv. forlænget opholdstid (recirkulering), trykkogning og vådoxidation; forudsætninger: TS af separeret fibre = 30 pct., VS/TS = 80 pct., biogasudbytte af afgasset fibre efter dekantercentrifuge: 0,15 m³/kg-VS, CH₄ pct. i biogas: 65 pct.



Figur 2.5. Vådoxidation af en del af de efterseparerede fibre og tilbageføring i reaktor



2.7. Implementering på biogasfællesanlæg

Erfaringer med de forskellige forbehandlinger er endnu begrænset i stor-skala. Trykkogning anvendes allerede i flere stor-skala anlæg til forbehandling af spildevands-slam (Cambi), madaffald (PNA) eller til animalske biprodukter (DAKA), mens vådoxidationen p.t. afprøves til behandling af halm i pilot-skala på BioCentrum-DTU. De forskellige anlæg arbejder ved temperaturer mellem 110°C og 200°C. Mens trykkogning foregår ved tryk under 10 bar stiger trykket i vådoxidationen op til 20 bar pga. tilsætning af et oxidationsmiddel (H_2O_2 , ilt eller luft). Tilsætning af ilt til vådoxidationsprocessen gør, at en del af ligninlaget afbrændes og dermed udvikles en vis procesvarme, der bidrager til at opretholde procestemperaturen. Afhængig af det specifikke reaktordesign kan store dele af varmen fra effluenten overføres til den tilførte fibermængde. Foreløbige beregninger viser, at processen vil kræve omkring 3 m³ biogas per ton behandlet fibre for at levere den nødvendige dampmængde (tabel 2.2).

Tabel 2.2. Energibehov til vådoxidationsproces

	Pr. ton	Pr. år
Kapacitet		
Fibermængde		20.000 tons/år
Tørstofindhold (TS)	300 Kg/ton	6.000 ton-TS/år
Energiforbrug		
Opvarmning af fibre (30 pct.TS) ¹	115 kWh/ton	1.472 MWh/år
Energiproduktion		
5 pct. af biomasse (VS) oxideret ²	186 kWh/ton-TS	1.117 MW/år
Netto energiforbrug	17,8 kWh/ton	355 MW/år
Biogasbehov ³	2,9 m ³ biogas/ton	58.552 m ³ biogas/år

¹ Opvarmning af vandindholdet i de separerede fibre fra 95°C til 175°C, 30 pct. varmetab i TS ved varmeovergang mellem effluent og influent.

² Brændværdi 13,4 MJ/kg.

³ 37 MJ/m³CH₄, 65 pct. CH₄ i biogas, 10 pct. varmetab.

Det antages, at varmen som frigives fra vanddampen i flashtanken er stor nok til at forsyne biogasreaktoren med den nødvendige varmemængde for at opretholdholde den termofile driftstemperatur. Afhængig af anlægsdesignet kunne energibehovet til vådoxidationsprocessen og biogasanlægget produceres enten gennem installation af en gasmotor som er stor nok til at levere varmen til dampgeneratoren eller gennem en ekstra kedel, som er fyret med biogas. Beregningerne i tabel 2.2 skal kun opfattes som tilnærmede. De indikerer, at en effektiv varmeveksling kan begrænse driftsomkostningerne ved implementering af vådoxidation på biogasanlæg.

Varmebehov til trykkogning vil være en del større, selvom procestemperaturen muligvis er lidt lavere, fordi der ikke udvikles varme ved selve processen. Ved de samme forudsætninger mht. varmetab som i tabel 2.2 vil opvarmning til 150°C kræve omkring 9 m³ biogas per ton behandlet fibermateriale.

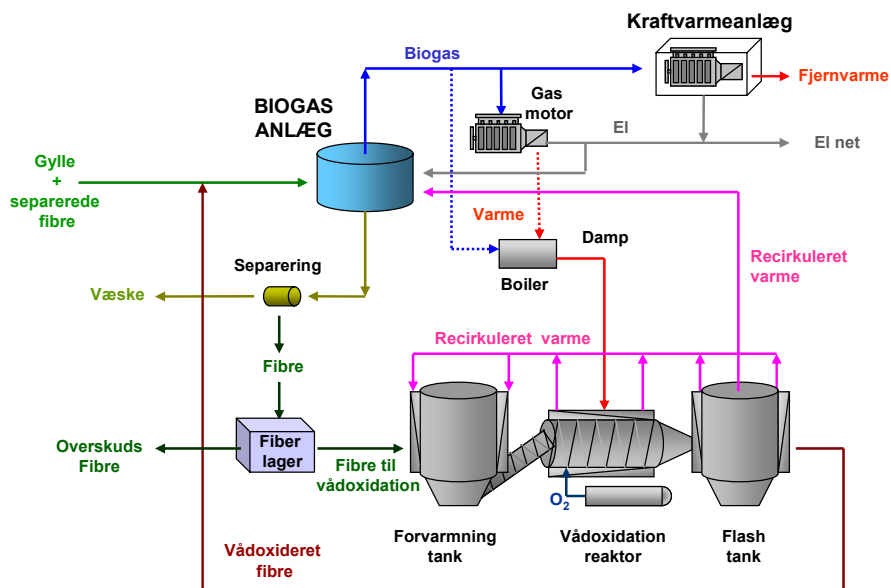
Firmaet BioGasol som står for udviklingen af vådoxidationsprocessen på Bio-Centrum-DTU har foreløbig angivet anlægsinvesteringer til vådoxidationsanlægget til behandling af 20 000 tons fibermateriale per år (tabel 2.3). Beregningerne er baseret på en kontinuert reaktordesign samt flashtank og tilbageføring af varme fra selve reaktoren til opvarmning af ny substrat i en forvarmningstank (figur 2.6).

Tabel 2.3. Udformning og anlægsinvesteringer til vådoxidationsanlægget

Kapacitet	Teknisk udformning				Anlægsinvesteringer
Fibermængde	20 000	tons/år	5,5	tons/time	
Massefylde	0,8	tons/m ³	6,8	m ³ /time	
Vådoxidationsreaktor					3,0 mio. kr.
Behandlingstid	20	min.			
Volumen (80 pct. fyldningsgrad) ¹	2,7	m ³			
Tryk	20	bar			
Forvarmningsreaktor					1,7 mio. kr.
Behandlingstid	60	min.			
Volumen (70 pct. fyldningsgrad) ¹	8,9	m ³			
Tryk	1	bar			
Flashtank					0,7 mio. kr.
Tryk	1	bar			
Volumen ¹	5,5	m ³			
I alt					5,4 mio. kr.

¹ Ved 10 timers behandlingstid pr. dag.

Figur 2.6. Implementering af et vådoxidationsanlæg på biogasanlæg til behandling af efterseparerede fibre



Litteraturliste

- EFP projekt (1993). Udredning vedrørende forøgelse af husdyrgødningens biogaspotentialer.
- EFP 1383/95-0002 (1998) Metoder til forøgelse af biogasudbyttet fra de tungt omsættelige dele af det organisk stof i gylle og undersøgelser over svinegyilles udrådningsegenskaber
- EFP 731327/98-0005 (2001) Evaluering af udvalgte metoder til forøgelse af biogaspotentialer i husdyrgødning – mekanisk forbehandling af fibre til forøgelse af gyllens fiberpotentialer
- Fan, L.T., Lee, Y.-H., Gharpuray, M.M. (1982). The nature of lignocellulosics and their pretreatments for enzymatic hydrolysis. *Adv Biochem Eng*, 23, 157-187.
- Gharpuray, M.M., Lee, Y.-H., Fan, L.T. (1983). Structural modification of lignocellulosics by pretreatments to enhance enzymatic hydrolysis. *Biotech. & Bioengng*, 25, 157-172.
- Grethlein, H.E. (1984). Pretreatment for enhanced hydrolysis of cellulosic biomass. *Biotech. Adv.*, 2, 43-62
- Hartmann, H., Angelidaki, I., and Ahring, B.K. (2000) Increase of anaerobic degradation of particulate organic matter in full-scale biogas plants by mechanical maceration. *Water Science and Technology*, 41 (3), 145-153.
- Hobson, P.N., Wheatley, A.D. (1993). Pretreatment of feedstocks. In: *Anaerobic digestion: Modern theory and practice* (pp. 149-174). Elsevier Applied Science, London & New York.
- Lissens, G., Klinken, H.; Verstraete, W., Ahring, B.K., Thomsen, A.B. (2004) Wet oxidation pre-treatment of woody yard waste: Parameter optimization and enzymatic digestibility for ethanol production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79(8), 889-895
- Møller, H.B., 2002. Separering af slagtesvinegylder med Ansager SepTec gylleseparatør. (Separering of pig manure with Ansager SepTec separator). Danish Institute of Agricultural Sciences. Internal Report No. 159.

- Møller, H.B., Lund, I., Sommer, S.G., 2000. Solid–liquid separating of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresource Technol* 74, 223–229.
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. 2002. Separating efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technol* 85, 189–196.
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. 2004. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and Bioenergy* 26, 485–495.
- Westerman, P.W., Bicudo, J.R., 1998. Tangential flow separating and chemical enhancement to recover swine manure solids and phosphorus. ASAE meeting presentation No. 984114.
- Working paper FOI no. 4/2006. Fremtidens biogasfællesanlæg – Nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale. Red. Johannes Christensen. Fødevareøkonomisk Institut.

3. Anlægskoncepter for fuldskaladrift

Seniorforsker Henrik B. Møller, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet

Ph.d. Hinrich Uellendahl, BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet

Professor Birgitte Ahring, BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet

3.1. Valg af mest lovende anlægskoncepter efter første analyserunde

I forundersøgelsen er blevet gennemført en driftsøkonomisk analyse for i alt ni forskellige koncepter (FOI Working Paper no. 4/2006). Otte nye koncepter med implementering af gylleseparering på gårdene og/eller på biogasanlægget samt vådoxidation til forbehandling af fiberfraktionen blev evalueret i forhold til et referencekoncept med et konventionelt biogasanlæg. Efter de indledende analyser er de oprindelige koncepter dels tilrettet, dels erstattet med andre koncepter.

Grundlaget for valg af de mest lovende koncepter var dels den driftsøkonomiske analyse af de 9 koncepter i den første analyserunde (se FOI Working Paper no. 4/2006 tabel 5.1, s.63), dels nogle vurderinger af om andre behandlingsteknologier kunne være relevante. Endelig blev det vurderet, at koncepterne, der udelukkende er baseret på forseparerede fibre, dels er teknologisk meget usikre, dels er vanskeligt realisable i praksis.

Det blev der besluttet, at der også i referencekoncepterne skulle foretages en separering, idet dette ville være den billigste måde at sikre fosforbalancen i oplandet. I den afsluttende analyse er referencekonceptet uden biogasanlæg (koncept 0) derfor ændret til, at der implementeres gylleseparering på en del af gårdene.

Recirkulering af en del af den afgassede fiberfraktion viste sig at være en nem og effektiv metode for at øge omsætningen af fiberfraktionen. Nye undersøgelser med serieudrødning viste en forøgelse i samme størrelsesorden. Dette koncept kunne forholdsvis nemt implementeres på biogasanlæg, som råder over flere reaktortanke.

Det blev konkluderet, at vådoxidationen ville give det største udbytte, når den implementeres som behandling af de efterseparerede fibre (se afsnit 2.6). Dette koncept, som ville øge fiberfraktionens biogasudbytte mest, skulle betragtes med og uden forseparering af fibre. Trykkogning blev inddraget som en alternativ forbehandling til

vådoxidationen, fordi den allerede anvendes i stor-skala til lignende biomasser og derfor kan procesomkostningerne angives mere præcist.

Endelig er analyserne i denne rapport sket under forudsætning af et lavere TS indhold i gyllen svarende til, hvad der i praksis er målt ved Lemvig Biogasanlæg. I de første analyser blev anvendt TS indhold som i de officielle normtal fra Danmarks JordbrugsForskning.

3.2. Reviderede anlægskoncepter

I den afsluttende analyse er blevet undersøgt i alt 6 forskellige anlægskoncepter til optimering af gyllebehandling vha. gylleseparering og behandling på biogasfællesanlægget. Disse er sammenlignet med to referencer, et uden biogasanlæg, men med gårdseparering (0) og et med konventionelt biogasanlæg med efterseparering (1) (tabel 3.1).

Tabel 3.1. Koncepter udvalgt til den endelige analyse

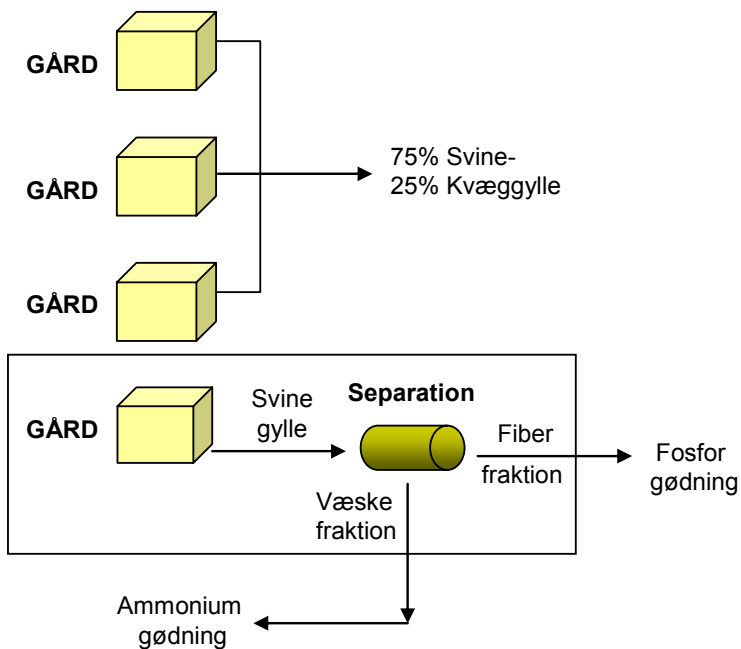
Koncept #	Tilført biomasse	Tilført mængde	Separering	TS _{in}	Reaktor type	Recirkulering af fibre	Behandling af fiberfraktion
0	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	700 t/d	Forseparering af af svinegylle	-	-	-	-
1	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	700 t/d	Efterseparering	5,4 pct.	CSTR	-	-
1a	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	700 t/d	Efterseparering	5,4 pct.	2-trins CSTR	-	-
1b	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	700 t/d	Efterseparering	5,4 pct.	CSTR	+	-
2	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	480 t/d = 1000 t ^a /d	Forseparering af 78 pct. af svinegylle	10 pct.	CSTR	+	Vådoxidation af recirk. fibre
2a	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	480 t/d = 1000 t ^a /d	Forseparering af 78 pct. af svinegylle	10 pct.	CSTR	+	Trykkogning af recirk. fibre
2b	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	1000 t/d	Efterseparering	5,4 pct.	CSTR	+	Vådoxidation af recirk. fibre
2c	75 pct. svinegylle 25 pct. kvæggylle	480 t/d = 1000 t ^a /d	Forseparering af 78 pct. af svinegylle	10 pct.	CSTR	-	-

^aab dyr.

Koncept 0. *Uden biogasanlæg, med gårdseparering*

Der implementeres gylleseparering (kemisk fældning) på en del af gårdene med sigte på bortskaffelse af overskydende fosfor med fiberfraktionen.

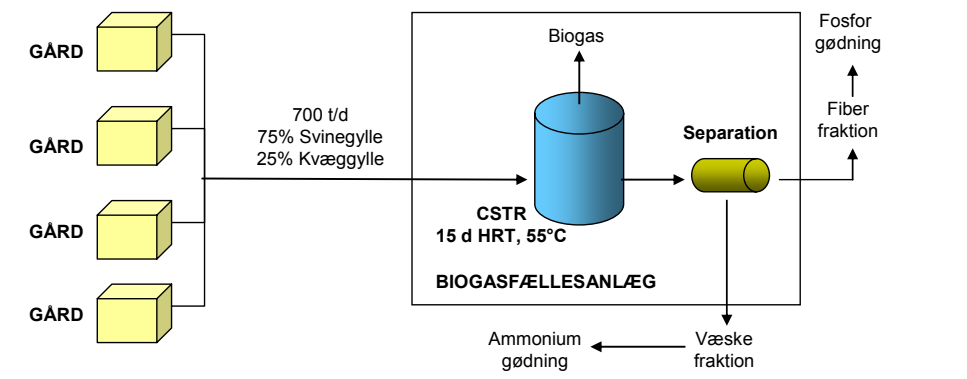
Koncept 0. Separering af fiberfraktionen på enkelte gårde = referencescenarie til biogasscenarier



Koncept 1. Gyllebehandling på biogASFællesanlæg + efterseparering af fibre

Al gylle leveres til et konventionelt biogasanlæg (fuldt omrørt reaktor, CSTR, 15 dage opholdstid (HRT), termofil, 55°C) hvor den afgassede gylle eftersepareres (vha. dekantercentrifuge) i en tynd fraktion, der føres tilbage til gårdene, og en fiberfraktion der eksporteres for at skaffe fosforbalance i oplandet.

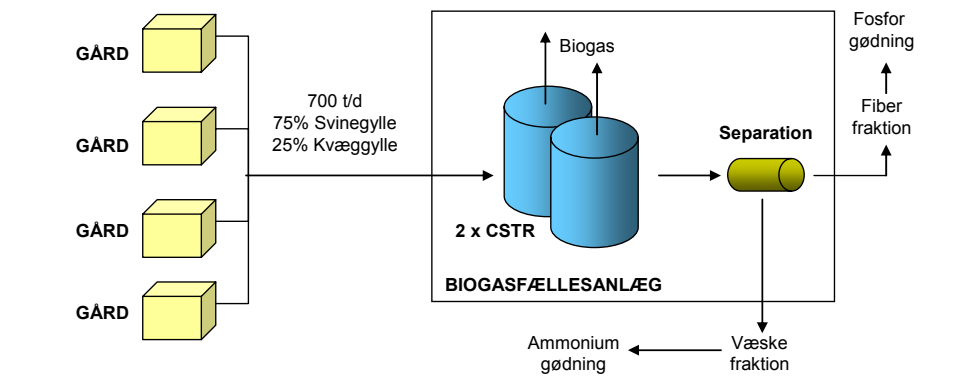
Koncept 1. Efterseparering af fiberfraktion på biogASFællesanlæg = referencescenarie til scenarier med foranstaltninger til øget biogasudbytte fra gylle



Koncept 1a. BiogASFællesanlæg med serieudrådning

BiogASFællesanlægget består af to reaktortanke i serie med et total opholdstid af 15 dage; fiberfraktionen eftersepareres til bortskaffelse af fosfor.

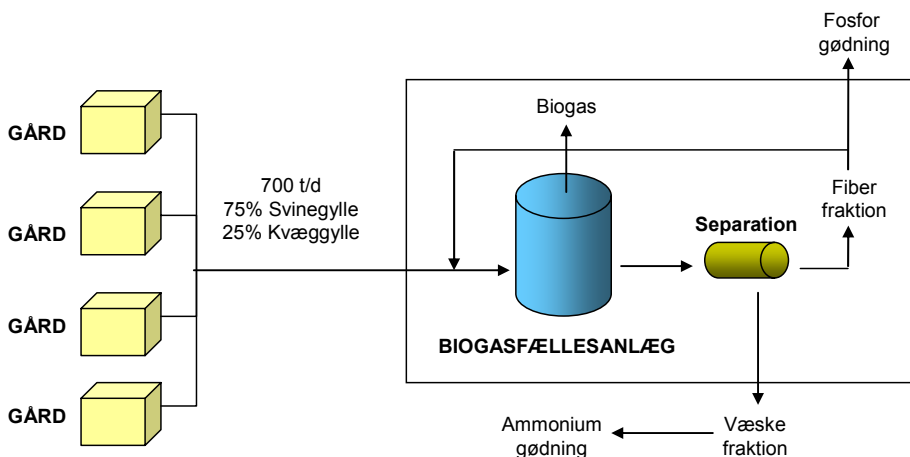
Koncept1a. Serieudrådning + efterseparering af fiberfraktion på biogASFællesanlæg



Koncept 1b. Efterseparering og tilbageføring af fiberfraktion

Al gylle fra et opland af samme størrelse som i koncept 1 (700 t/d ab gård) tilføres biogasanlægget. Fiberfraktionen eftersepareres og en del af fibre tilbageføres i reaktoren uden videre behandling. Dermed forøges opholdstiden af de svært omsættelig fibre med det formål at forøge biogasudbyttet.

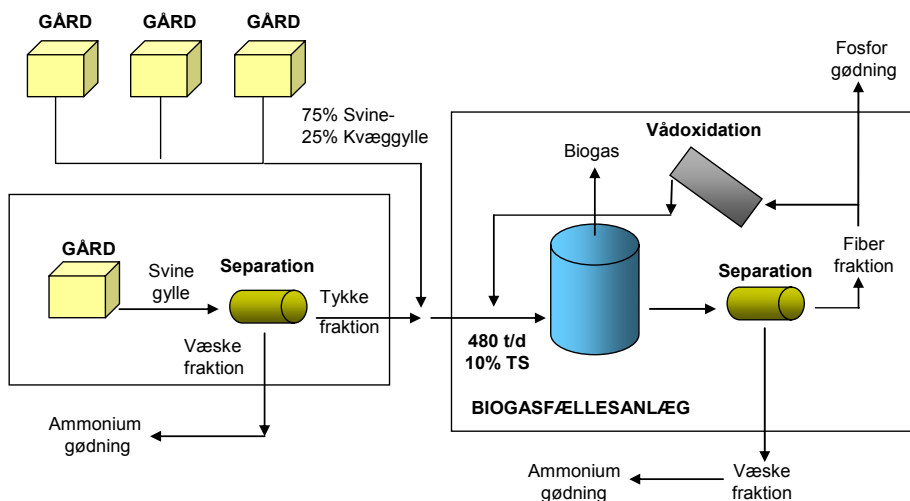
Koncept 1b. Efterseparering og (delvis) tilbageføring af fibre



Koncept 2. Forseparering + vådoxidation af den efterseparerede fiberfraktion + recirkulering af fibre

Der forsepareres en andel af gyllen og kun fiberfraktionen tilføres anlægget og blandes med den resterende gylle. Andelen af gylle, der forsepareres, svarer til en opgradering af TS indholdet til 10 pct., hvorved gyllen fortsat er pumpbar. Ved de lavere TS tal i gylle vil det svare til at 78 pct. af alt svinegylle separeres på gårdene (vha. kemisk fældning). Det betyder, at der behandles 480 t/d på biogasanlægget. Oplandet til det enkelte biogasanlæg er udvidet til omkring 1000 t gylle af dyr per dag. På biogasanlægget implementeres vådoxidation som behandling af den udrådnede fiberfraktion. Ved vådoxidationen ødelægges den lignocellulære struktur af de tungt omsættelige fiberdele og dermed forøges nedbrydeligheden og biogasudbyttet betragteligt. De vådoxiderede fibre tilføres reaktoren i blanding med den leverede gylle og fiberfraktion.

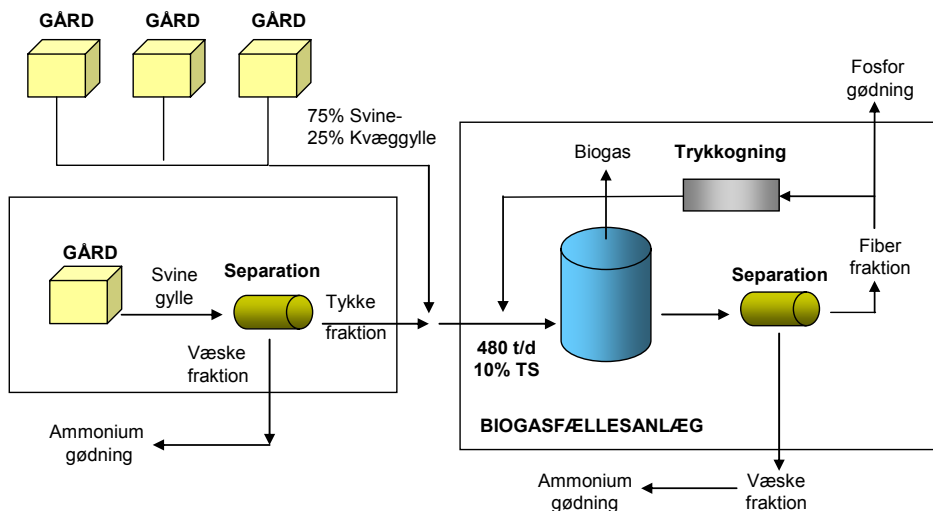
Koncept 2. Separering af fiberfraktionen på en del af gårdene og vådoxidation af tilbageførte fibre



Koncept 2a. Forseparering + trykkogning af den efterseparerede fiberfraktion + recirkulering af fibre

Det er samme koncept som 2, men den udrådnede fiberfraktion behandles vha. trykkogning i stedet for vådoxidation.

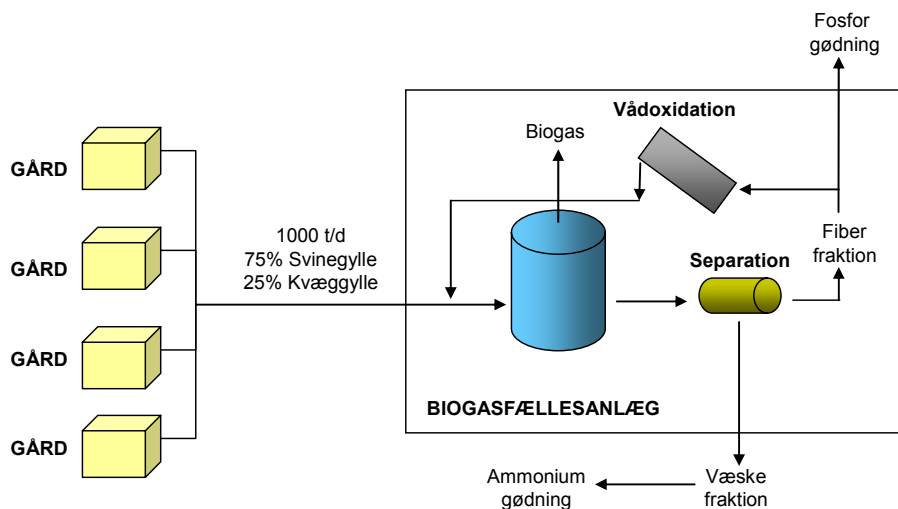
Koncept 2a. Separering af fiberfraktionen på en del af gårdene og trykkogning af tilbageførte fibre



Koncept 2b. Vådoxidation af den efterseparerede fiberfraktion + recirkulering af fibre

Konceptet er udelukkende en ændring af driften på biogasanlægget uden konsekvenser for den enkelte gård. Gyllen forsepareres ikke, men fiberfraktionen eftersepareres på biogasanlægget, vådoxideres og tilbageføres i reaktoren som i koncept 2.

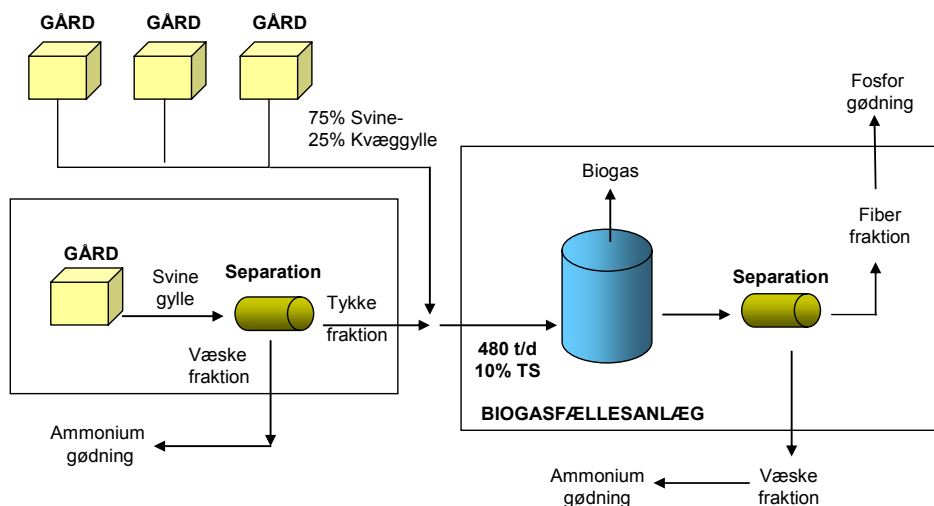
Koncept 2b. Vådoxidation af efterseparerede fibre og tilbageføring af den vådoxiderede fiberfraktion



Koncept 2c. Forseparering og behandling af fiberfraktion i samudrådning med gylle på biogASFællesanlæg

I koncept 2c analyseres udelukkende effekten af gylleseparering af en stor del af fiberfraktionen på gårdene vha. kemisk fældning. Den separerede fiberfraktion tilføres biogasanlægget i en 10 pct. TS-blanding med gylle som i koncept 2, men der foretages ikke en behandling og tilbageføring af den udrådnede fiberfraktion. På biogasanlægget eftersepareres gylle i en fiber- og en væskefraktion vha. dekantercentrifuge for at fjerne overskydende fosfor.

Koncept 2c. Separering af den tykke fraktion på en del af gårdene og samudrådning med gylle på biogasanlæg



3.3. Sammenlignende analyser

De valgte anlægskoncepter (se oversigten i tabel 3.1) giver ved sammenligning af senere beregningsresultater, mulighed for at vurdere de forskellige teknologier.

Ved at sammenligne koncept 1 med koncept 0 ses om biogasanlæg alene baseret på gylle er rentabel i forhold til konventionel gyllehåndtering, dog suppleret med separering med sigte på at fjerne et fosforoverskud ved eksport af fiberfraktion. Da der også sker en separering i koncept 1 er de to koncepter ligestillet landbrugsmæssigt. Det samme er tilfældet for de øvrige koncepter, hvor der via fiberfraktionen fjernes samme fosformængde.

Sammenlignes koncept 1 med de resterende koncepter ses i hvilken udstrækning de forskellige behandlingsteknologier bidrager til at forøge anlæggenes rentabilitet overfor et konventionelt biogasanlæg, ligesom teknologierne kan sammenlignes indbyrdes.

Også effekten af en forseparering vil kunne vurderes. Fx ved at sammenholde koncept 2b med koncepterne 2, 2a og 2c. Her tages udgangspunkt i det samme landbrugsopland, men når der ikke forsepareres, skal en større mængde tilføres anlægget. Når der forsepareres forbliver den tynde fraktion på gårdene og anvendes direkte som gødning.

Der er således mulighed for mange forskellige sammenligninger og analyserne kan udvides til at vise, hvor meget de centrale forudsætninger skal ændres for at opnå balance koncepterne imellem, herunder betingelserne for at et givet koncept er rentabel, både i forhold til konventionel gyllehåndtering (koncept 0) og i forhold til konventionel biogasanlæg (koncept 1).

Ved sammenligningerne bør der naturligvis tages hensyn til, at biogasanlæggene ikke er lige store og det samme gælder oplandene. Ved at omregne pr. tons gylle i oplandet fås imidlertid et nøgletal, der muliggør en sammenligning systemer imellem.

4. Massebalancer for anlægskoncepter

Seniorforsker Henrik Bjarne Møller, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus Universitet og ph.d. Hinrich Uellendahl, BioCentrum, Danmarks Tekniske Universitet

Der er udarbejdet en model til beregning af massebalancer for de forskellige koncepter. I det indledende working paper (FOI, No. 4/2002) blev der anvendt gylle med et tørstofindhold svarende til normtallene. Efter en analyse af tørstofindholdet i svine- og kvæggylle der ind transporteres til biogasanlæg i praksis, blev det konkluderet, at tørstofudbyttet i praksis er noget lavere end angivet i normerne. Det blev besluttet at tage udgangspunkt i anlægget i Lemvig, som er et af de anlæg der har gjort en betydelig indsats for at forøge tørstofudbyttet ved et straf/bonus system. Det oprindeligt anvendte tørstofindhold (normerne) er således et udtryk for, hvor langt man med en stor indsats vil kunne nå op i tørstofindhold, medens det anvendte tørstofindhold i de nye beregninger er et udtryk for, hvor langt man i praksis er nået på nuværende tidspunkt.

I tabel 4.1 angives indholdet af næringsstoffer i de husdyrgødningsprodukter, der udføres separering og beregninger for i hhv. nye forudsætninger (praksis baseret TS) og oprindelige forudsætninger (norm baseret TS) anvendt i workingpaperet. Husdyrgødningen er normal blandet svine- og malkekvæg gylle. Det antages at der i beregninger uden forseparation indgår 75 pct. svinegylle og 25 pct. kvæggylle. I beregningerne med forseparation af gylle separeres udelukkende svinegylle.

Tabel 4.1. Nøgletal for husdyrgødning inden separering og afgangning

kategori		Svin (søer + slagtesvin)		Malkekøer tung race	
		delvis spaltegulv		Sengestald med spaltegulv	
		Normbaseret TS	Praksisbaseret TS	Norm baseret TS	Praksisbaseret TS
Gylle/DE	tons	17,64	25,9	19,39	25,0
Tørstof	g/kg	66	45,0	103	80,0
VS	g/kg	52,8	36,0	82,4	64,0
Kg N	g/kg	5,05	3,4	5,47	4,2
Kg NH4-N	g/kg	3,78	2,6	3,29	2,6
Kg P	g/kg	1,21	0,8	1,02	0,8
Kg K	g/kg	2,36	1,6	5,28	4,1

Det er i projektet ud fra en økonomisk og effektivitetsmæssig vurdering besluttet, at kemisk fældning anvendes til forseparation og centrifugering med dekanter anvendes til efterseparering. Det antages at forseparation sker med gylle med fast tørstofindhold, som angivet i tabel 4.1, hvilket giver en fast separeringseffektivitet, som vist i tabel 4.2.

Tabel 4.2. Nøgletal for faste produkter og væske efter forseparering med kemisk fældning af svinegylle med praksisbaseret TS indhold. Separeringseffektivitet er beregnet som mængden af rågyllens næringsstoffer der overføres til den faste fraktion

	Rågylle	Væske	Koncentrat	Separerings effektivitet
	----- Kg/ton -----			Pct.
<i>Volumen</i>	1.000	880	120	12
Tørstof	45	10,23	300	80
Organisk TS	36,00	8,18	240	80
Total N	3,44	2,54	10,04	35
NH4-N	2,58	2,58	2,58	12
Fosfor-total	0,83	0,19	5,50	80
Kalium	1,61	1,61	1,61	12

Efterseparering sker på afgasset biomasse ved hjælp af decantercentrifuge og med et tørstofindhold, der er variabelt i de enkelte koncepter. Det har derfor været nødvendigt at udregne separeringseffektiviteten i det afgassede produkt i forhold til tørstofindholdet, da det har vist sig, at separeringseffektiviteten (SE) med en centrifuge er meget tørstofafhængig. Der er anvendt følgende formler:

$$SE \text{ (Vægt)} = 0,2665 \cdot TS \text{ pct.} - 0,6632$$

$$SE \text{ (Tørstof)} = 0,3381 \cdot TS \text{ pct.} + 41,824$$

$$SE \text{ (Fosfor total)} = 0,2483 \cdot TS \text{ pct.} + 59,727$$

$$SE \text{ (Kvælstof total)} = 0,428 \cdot TS \text{ pct.} + 7,134$$

Udregningerne for indholdet er overvejende baseret på (Møller et al. 2002).

Resultater fra batch og reaktorforsøg danner grundlag for modelberegninger mht. udregning af gasproduktion, tørstofindhold mm ved afgasningen i de forskellige koncepter. De enkelte værdier er angivet i tabel 4.3 a og 4.3 b. Den angivne andel af biomasse, der skal forsepareres, er beregnet ud fra, at der skal være et tørstofindhold, der er så højt som muligt, men ikke højere end at det kan håndteres ved traditionel omrør-

rings- og udrådningsstrategi. Det vurderes, at dette niveau er maksimalt 10 pct.. Den angivne andel af biomasse, der skal eftersepareres, er udregnet efter, hvilken mængde fosfor, der skal transporteres ud af området.

Gasudbytteerne er udregnet med udgangspunkt i at processen er velfungerende uden hæmning af betydning. Dette kræver, at der er en meget effektiv efterudråkning med gasopsamling i koncepterne med høj forseparering.

Tabel 4.3a. Forudsætninger og resultater af modelberegninger med praksis baseret TS indhold. I koncepterne med forseparering separeres der så meget svinegylle, at TS i fortanken bliver 10 pct.. CH₄ indholdet i gassen er anslået til 60 pct.

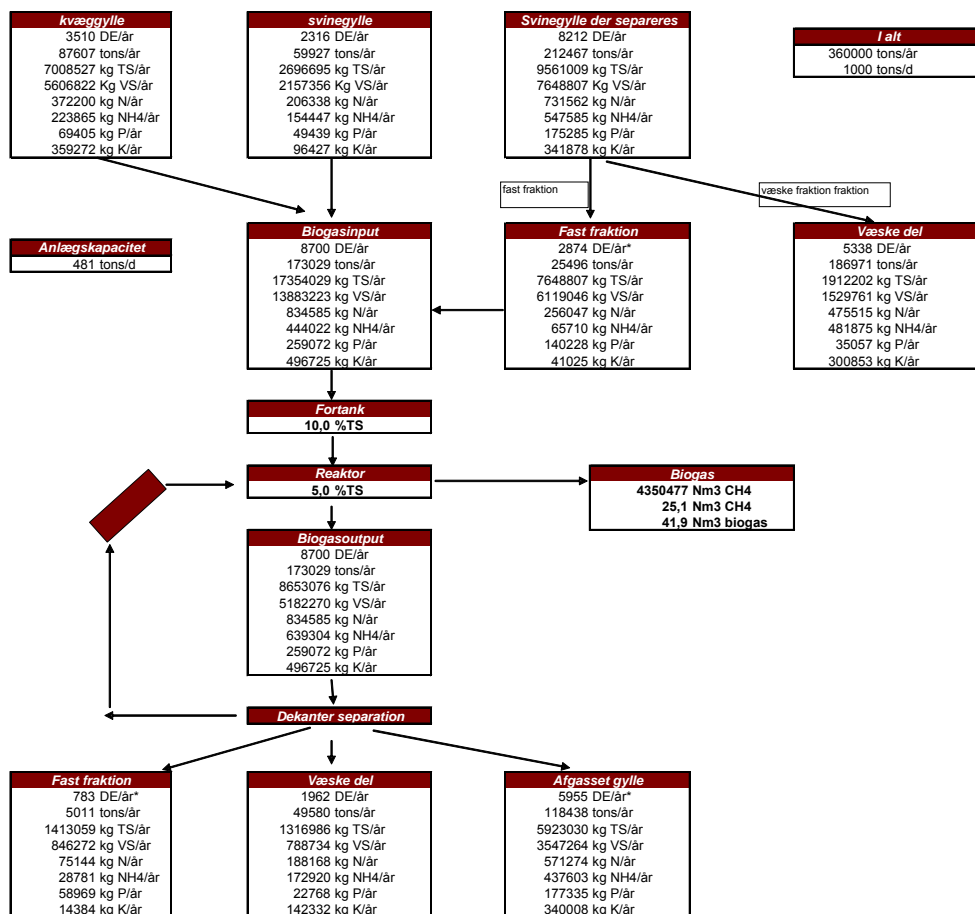
		Koncept 1	Koncept 1a	Koncept 1b	Koncept 2	Koncept 2a	Koncept 2b	Koncept 2c
		Efterseparering af gylle på biogasanlæg	2-trins biogasproces, efterseparering	Recirkulering af fibre, efterseparering	Forseparering, recirkulering af vådox. fibre, efterseparering	Forseparering, recirkulering af trykkogte fibre, efterseparering	Recirkulering af vådox. fibre, efterseparering	Forseparering, efterseparering
Gylle	tons/dag ab gård	700	700	700	1.000	1.000	1.000	1.000
Gylle	1000 tons/år ab gård	252	252	252	360	360	360	360
Fra svin		75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.
Fra malkekøer		25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.
Andel for separeret svinegylle		0 pct.	0 pct.	0 pct.	78 pct.	78 pct.	0 pct.	78 pct.
Anlægskapacitet	tons/dag	700	700	700	480	480	1.000	480
Andel separeret effluent		29 pct.	29 pct.	29 pct.	32 pct.	32 pct.	30 pct.	30 pct.
Biogas potentiale								
Gylle		Rågylle	2-trins proces	Recirkulering fibre	Rec+vådox	Rec+tryk-kog	Rec+vådox	Rågylle
slagtesvin	CH ₄ /kg-VS	0,3	0,33	0,33	0,36	0,35	0,36	0,3
Variations område		0,28-0,32	0,31-0,35	0,31-0,35	0,34-0,38	0,33-0,37	0,34-0,38	0,28-0,32
malkekøer	CH ₄ /kg-VS	0,25	0,28	0,28	0,31	0,3	0,31	0,25
Variations område		0,23-0,27	0,26-0,30	0,26-0,30	0,29-0,33	0,28-0,32	0,29-0,33	0,23-0,27
Fast fraktion								
slagtesvin	CH ₄ /kg-VS				0,3	0,3	0,3	0,3
Variations område					0,28-0,32	0,28-0,32	0,28-0,32	0,28-0,32
malkekøer	CH ₄ /kg-VS				0,2	0,2	0,2	0,2
Variations område					0,18-0,22	0,18-0,22	0,18-0,22	0,18-0,22
gasudbytte								
M ³ CH ₄ /år		3040488	3364161	3344537	4350477	4272835	5268333	3604285
M ³ CH ₄ /m ³		12,1	13,3	13,2	25,1	24,7	14,6	20,8
M ³ biogas/m ³		20,1	22,2	22,11	41,9	41,2	24,4	34,7

Tabel 4.3b. Forudsætninger og resultater af modelberegninger med norm baseret TS indhold. I koncepter med forseparering separeres der så meget, at TS indhold i fortanken bliver 10 pct. CH₄ indholdet i gassen er anslået til 60 pct.

		Koncept 1	Koncept 1a	Koncept 1b	Koncept 2	Koncept 2a	Koncept 2b	Koncept 2c
		Efterseparering af gylle på biogasanlæg, efterseparering	2-trins biogasproces, efterseparering	Recirkulering af fibre, efterseparering	Forseparering, recirkulering af vådox. fibre, efterseparering	Forseparering, recirkulering af trykkogte fibre, efterseparering	Recirkulering af vådox. fibre, Efterseparering	Forseparering, efterseparering
Gylle	tons/dag ab gård	490	490	490	700	700	700	700
Gylle	1000 tons/år ab gård	178	178	178	254	254	254	254
Fra svin		75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.	75 pct.
Fra malkekøer		25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.	25 pct.
Andel for separeret svinegylle		0 pct.	0 pct.	0 pct.	48 pct.	48 pct.	0 pct.	48 pct.
Anlægskapacitet	Tons/dag	500	500	500	500	500	700	500
Andel separeret effluent		29 pct.	29 pct.	29 pct.	30 pct.	30 pct.	30 pct.	30 pct.
Biogas potentiale								
Gylle		Rågylle	2-trins proces	Recirkulering fibre	Rec+vådox	Rec+trykkog	Rec+vådox	Rågylle
slagtesvin	CH ₄ /kg-VS	0,3	0,33	0,33	0,36	0,35	0,36	0,3
Variations område		0,28-0,32	0,31-0,35	0,31-0,35	0,34-0,38	0,33-0,37	0,34-0,38	0,28-0,32
malkekøer	CH ₄ /kg-VS	0,25	0,28	0,28	0,31	0,3	0,31	0,25
Variations område		0,23-0,27	0,26-0,30	0,26-0,30	0,29-0,33	0,28-0,32	0,29-0,33	0,23-0,27
Fast fraktion								
slagtesvin	CH ₄ /kg-VS				0,3	0,3	0,3	0,3
Variations område					0,28-0,32	0,28-0,32	0,28-0,32	0,28-0,32
malkekøer	CH ₄ /kg-VS				0,2	0,2	0,2	0,2
Variations område					0,18-0,22	0,18-0,22	0,18-0,22	0,18-0,22
Gasudbytte								
	m ³ CH ₄ /år	3040887	3364602	3355142	4704115	4597041	5269024	3786655
	m ³ CH ₄ /m ³	17,1	18,9	18,8	26,1	25,5	20,8	20,9
	m ³ biogas/m ³	28,5	31,6	31,4	43,5	42,5	34,6	34,9

I tabel 4.4 er vist et eksempel på beregning af massebalancen for koncept 2 med 78 pct. forseparering af svinegylle.

Tabel 4.4. Eksempel på massebalanceberegning i koncept 2, med forseparering af 78 pct. svinegylle og recirkulering af separerede og vådoxiderede fibre



I eksemplet i tabel 4.4 recirkuleres den faste fraktion. Det antages, at hele den afgassede mængde separeres og at næsten hele den faste mængde recirkuleres. For at undgå for høj tørstof akkumulering skal der imidlertid løbende fjernes en delmængde. Den del af fibre, der frasepareres og eksporteres, er i ovenstående eksempel fastlagt efter at opfylde landmændenes behov for P balance. Der er imidlertid i konceptet indbygget en separering af hele det afgassede materiale med henblik på at optimere processen og så stor en andel af fiberen som muligt vil blive recirkuleret indtil tørstofind-

holdet i reaktoren overstiger den håndteringsmæssige kapacitet. Det vurderes, at en recirkuleringsrate på ca. 80 pct. vil være realistisk.

I tabel 4.5 er massebalancer, mængder og næringsstoffer i de enkelte koncepter, ton pr år ved praksis nært TS indhold beregnet.

Tabel 4.5. Massebalancer, mængder og næringsstoffer i de enkelte koncepter, ton pr år ved praksis nært TS indhold								
		Koncept 1	Koncept 1a	Koncept 1b	Koncept 2	Koncept 2a	Koncept 2b	Koncept 2c
Biomasse, ind	Tons/år	252000	252000	252000	173029	173029	360000	173029
	N kg/år	917070	917070	917070	834585	834585	1310100	834585
	P kg/år	205891	205891	205891	259072	259072	294129	259072
	K kg/år	558304	558304	558304	496725	496725	797578	496725
Fast, ud	Tons/år	3414	3063	3187	5011	5127	4094	5847
	N kg/år	51519	48645	50447	75144	76155	68829	80466
	P kg/år	39329	38954	40276	58969	59151	58015	57573
	K kg/år	7563	6786	7060	14384	14718	9070	16785
Flydende, ud	Tons/år	68406	68757	71027	49580	49464	103906	45915
	N kg/år	209846	212720	219631	188168	187156	324201	169200
	P kg/år	19350	19724	20358	22768	22586	30224	19929
	K kg/år	151554	152331	157360	142332	141998	230204	131810
Afgasset biomasse, ud	Tons/år	180180	180180	177786	118438	118438	252000	121267
	N kg/år	655705	655705	646993	571274	571274	917070	584919
	P kg/år	147212	147212	145256	177335	177335	205891	181571
	K kg/år	399188	399188	393884	340008	340008	558304	348130

Massebalancerne i tabel 4.5 er udregnet ud fra de beregnede input og den angivne separerings effektivitet og danner baggrund for de landbrugsmæssige- og økonomiske beregninger.

Litteraturliste

Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. 2002. Separering efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. Bioresource Technology 85: 189–196.

5. Landbrug og næringsstofforvaltning

Konsulent Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret

For at afdække de landbrugsmæssige konsekvenser af at indføre biogasanlæg og gylleseparering, er der opstillet et landbrugsopland, som kan forsyne biogasanlægget med den fornødne mængde gylle. Landbrugsoplandet skal desuden aftage afgassede og separerede produkter fra anlægget. En del af produkterne skal afsættes uden for oplandet for at overholde et kriterium om maksimal tilførsel af 20 kg P pr. ha i husdyrgødning eller afgasset biomasse.

5.1. Metode

Der er sammensat et "kunstigt" opland med relativ høj husdyrtæthed. For at få en så realistisk sammensætning af oplandet som muligt, er sammensætningen foretaget, så en række nøgletal svarer til nøgletallene for et husdyrtæt område i Danmark (referenceområde). Som referenceområde er valgt Morsø Kommune (før kommunalreformen pr. 1. januar 2007). Nøgletallene for referenceområdet er beregnet ud fra et udtræk af Plantedirektoratets database over gødningsregnskaber for høståret 2002/03. En sammenligning af nøgletallene for referenceområdet og for det kunstige opland fremgår af afsnit 5.3.

For nu-driften (scenarie 0) uden biogas, men med gylleseparering og for hvert af 7 alternativer med biogasanlæg og gylleseparering laves gødningsplaner over forbruget af gylle, separeringsprodukter og handelsgødning, og der gennemføres beregninger over behov for gødningsoverførsel, gødningsudnyttelse og handelsgødningsforbrug. Dermed sikres, at afgrødernes næringsstofforsyning er optimal i alle scenarier og der er balance mellem behov og tilførsel af de enkelte næringsstoffer og på en måde, så planteproduktionen kan antages på samme niveau uanset behandlingssystem.

5.2. Begrænsninger i tilførsel af husdyrgødning

Den maksimalt tilladte mængde husdyrgødning er fastsat ud fra en maksimal tilførsel på 20 kg fosfor pr. ha på alle brugstyper. Denne begrænsning er snævrere, end krævet i den gældende lovgivning (husdyrgødningsbekendtgørelsen), hvor der tillades op til 140 kg kvælstof pr. ha på svine- og planteavlsbrug og op til 170 kg kvælstof pr. ha på kvægbrug (henholdsvis 1,4 og 1,7 dyreenheder pr. ha). Under visse betingelser tillades endog op til 230 kg kvælstof pr. ha på kvægbrug (2,3 dyreenheder pr. ha). Med

den kvælstofmængde følger en fosformængde, som i mange tilfælde vil være væsentlig større, end det som afgrøder efterfølgende fjerner fra marken, og der vil derfor ofte være et større eller mindre overskud af fosfor på marken.

Af frygt for, at dette fosforoverskud vil give anledning til miljøgener, stiller mange kommuner allerede i dag krav om, at der skal være balance mellem tilførsel og bortførsel, når en landmand søger om tilladelse til at udvide besætningen. I praksis vil der ofte være balance ved en tilførsel på ca. 20 kg fosfor pr. ha, men det vil variere meget afhængig af jordtype, sædskifte, udbyttelniveau m.v.

5.3. Beskrivelse af oplande

I alle oplandene er 75 pct. af dyreenhederne svin og 25 pct. er kvæg. Der vælges oplande af følgende størrelser:

Scenarie 0, 1, 1a og 1b	252.000 ton gylle
Scenarie 2, 2a, 2b og 2c	360.000 ton gylle

Specifikke forudsætninger for oplandet

I tabel 5.1 er vist en oversigt over nøgletal for Morsø Kommune og for scenarie 0* i det kunstige opland ("nu-drift" uden biogasanlæg og gylleseparering).

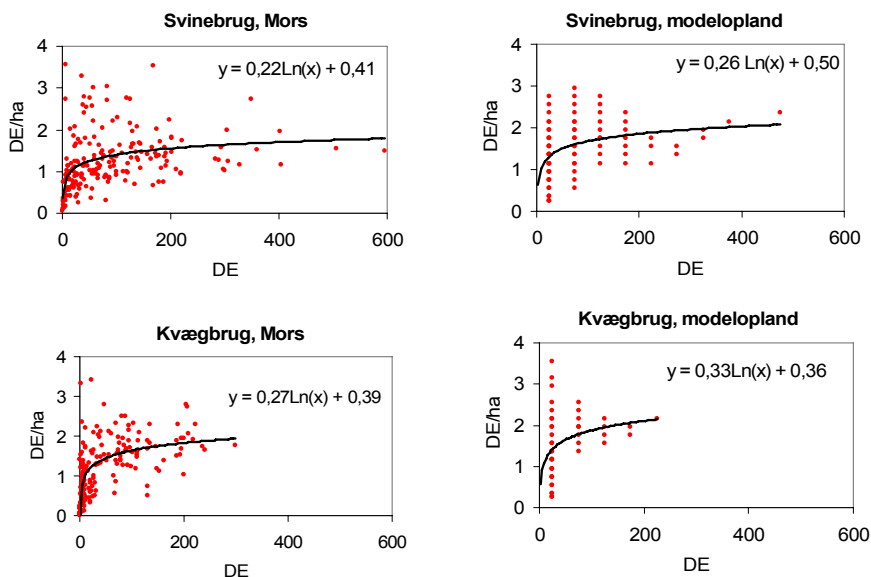
Tabel 5.1. Sammenligning af nøgletal i Morsø Kommune og i scenarie 0* i kunstige opland (nu-drift)

	Morsø kommune	Scenarium 0* ("nu-drift")
Antal brug, stk.:		
Svinebrug	203 (35 pct.)	79 (48 pct.)
Kvægbrug	186 (32 pct.)	47 (28 pct.)
Andre husdyr	55 (9 pct.)	0
Ren planteavl	144 (24 pct.)	39 (24 pct.)
Dyreenheder:		
Svinebrug	19.307 (62 pct.)	7.475 (75 pct.)
Kvægbrug	9.657 (31 pct.)	2.475 (25 pct.)
Andre husdyr	2.098 (7 pct.)	0
Ren planteavl	0	0
Areal, ha:		
Svinebrug	14.981 (59 pct.)	5.817 (69 pct.)
Kvægbrug	7.172 (28 pct.)	1.802 (21 pct.)
Ren planteavl	3.332 (13 pct.)	838 (10 pct.)
Dyreenheder pr. ha:		
Svinebrug	1,29	1,29
Kvægbrug	1,37	1,35
Gennemsnit for hele området	1,18	1,15
Normproduktion i husdyrgødning, kg N pr. ha:		
Svinebrug	120	120
Kvægbrug	134	133
Kg N pr. dyreenhed:		
Svinebrug	94	93
Kvægbrug	97	99
N-norm, kg N pr. ha:		
Svinebrug	142	144
Kvægbrug	163	164
Ren planteavl	144	144
Handelsgødning, kg N pr. ha:		
Svinebrug	66	65
Kvægbrug	62	65
Ren planteavl	87	92

Brugsstørrelse og husdyrtæthed

Størrelsen af de enkelte brug i oplandet er fastsat således, at der blev god overensstemmelse mellem størrelsesfordelingen i modeloplandet og på Mors. Samtidig er jordtilliggendet afstemt, således at harmoniforholdet i modeloplandet svarer til harmoniforholdet på Mors. Dette er illustreret i figur 5.1.

Figur 5.1. Fordeling af driftsstørrelse og husdyrtæthed på Mors (til venstre) og i modeloplandet (til højre) for henholdsvis svinebrug (øverst) og kvægbrug (nederst)



Husdyrgødningsnormer

I beregningerne er der anvendt normer for husdyrgødnings indhold af næringsstoffer (Poulsen, et. al., 2001). På bedrifterne produceres kun gylle. Som standard er der regnet med, følgende sammensætning af husdyrholdet:

Svinebrug: Søer med fuldt opdræt af smågrise og slagtesvin

Kvægbrug: Malkekøer af stor race med 1,17 årsopdræt og 0,5 produceret tyr årligt pr. årsko.

Husdyrgødningsnorm for 2004/05 er anvendt, men fosforindholdet er reduceret med 9 pct. for svin og 8 pct. for kvæg, som følge af en forventning om en forbedret fodring i tilfælde af, at der indføres restriktioner i fosfortilførslen. Reduktionen i fosforindholdet er estimeret af henholdsvis Dansk Svineproduktion og Dansk Kvæg. Derudover er husdyrgødningsnormerne "fortyndet" med 20 pct. vand for at opnå en tørstofprocent,

som stemmer overens med praksis fra Lemvig Biogasanlæg. Henholdsvis norm- og praksisbaseret indhold kan ses i tabel 4.1 under afsnit 4.

Jordtype og sædskifte

På alle driftstyper er anvendt JB 2-4 på halvdelen af arealet og JB 5-6 på resten. I tabel 5.2 og 5.3 er vist en oversigt over de standardsædskifter, som er valgt til henholdsvis svine- og planteavlsbrug og til kvægbrug. Desuden er normerne for tilførsel af kvælstof, fosfor og kalium vist, som de fremgår af Plantedirektoratets Vejledning og Skemaer, 2004-05.

Tabel 5.2. Sædskifte og næringsstofbehov på svine- og planteavlsbrug

	N-norm, kg/ha	Forfrugts- værdi, kg/ha	P-norm, kg/ha	K-norm, kg/ha
Vinterbyg	149	0	19	60
Vinterraps	172	-29	24	80
Vinterhvede	164	0	20	70
Vinterhvede, 2. års	164	0	20	70
Vårbyg	121	0	22	55
Vårbyg	121	0	22	55
Gennemsnit	144		21	65

Tabel 5.3. Sædskifte og næringsstofbehov på kvægbrug

	N-norm, kg/ha	Forfrugts- værdi, kg/ha	P-norm, kg/ha	K-norm, kg/ha
Silomajs	145	0	42	135
Silomajs	145	0	42	135
Vårbyg m. udlæg	121	0	22	55
Slætgræs	253	-74	32	180
Slætgræs, 2. års	253	0	32	180
Permanent græs, alm. afgræsning	140	0	9	75
Gennemsnit	164		34	127

Tabel 5.4. Anvendt udnyttelse af kvælstof i husdyrgødning

	Kvælstofudnyttelse, pct., 1. + 2. år	Vægtet gennemsnit, pct.
Svinegylle	75	-
Kvæggylle	70	-
Afgasset gylle	80	-
Fiber, svinegylle	50	
Væske, svinegylle	90	80
Fiber, afgasset gylle	50	
Væske, afgasset gylle	90	82

Overførsel af husdyrgødning inden for oplandet

I praksis har et betydeligt antal husdyrbrugere et mindre antal husdyr end harmonigrænsen tillader – selv i et husdyrtæt område. En del rene planteavlere modtager husdyrgødning, men en del vælger af den ene eller den anden årsag ikke at modtage husdyrgødning på trods af det store udbud. I beregningerne er det for alle husdyrbrugere og rene planteavlere derfor antaget, at de præcis modtager 50 pct. af den maksimale mængde de kunne have modtaget i henhold til maksimumsgrænsen på 20 kg P pr. ha. Således bliver der behov for tilførsel af fosfor i handelsgødning selv i det husdyrtætte område og under skærpede krav til tilførsel af fosfor i husdyrgødning.

Handelsgødning

I tabel 5.5 er vist prisen på handelsgødning. Der er anvendt de priser, som fremgår af Oversigt over Landsforsøgene 2004 (Pedersen, 2004). Der er regnet med et kvælstofindhold i NPK-gødning på 25 pct., og hvor der er behov for tilførsel af fosfor og kalium i handelsgødning er det forudsat, at der vælges en passende NPK-gødning, således at behovet for kvælstof, fosfor og kalium kan opfyldes med én gødning og med blot én udbringning.

Tabel 5.5. Handelsgødningsindhold og -priser

N-koncentration i NPK-gødning	25 pct.
N-pris	4,50 kr. pr. kg
P-pris	9,20 kr. pr. kg
K-pris	2,90 kr. pr. kg

5.4. Resultater for landbrugsoplande

Nedenfor er hovedresultaterne af beregningerne over landbrugsoplandene præsenteret. Resultaterne indgår endvidere i den driftsøkonomiske model i afsnit 8.

Behov for overførsel af husdyrgødning

Husdyrtætte områder er kendetegnet ved, at husdyrgødningen kun med nød og næppe kan afsættes inden for området, og i meget husdyrtætte områder skal en del af gødningen transporteres ud af området for at skabe den krævede harmoni mellem husdyrproduktionen og dyrkningsarealet. Det er tilfældet selv med de nugældende harmoniregler. I scenarieberegningerne er der som nævnt forudsat en stramning af harmonikravene, således at det maksimalt er tilladt at udbringe 20 kg P i husdyrgødning pr. ha pr. år. Det strammere krav betyder dels, at der bliver et væsentligt behov for at føre husdyrgødning ud af området, men til gengæld blive den gennemsnitlige tilførsel af fosfor i husdyrgødning væsentlig lavere. Det fremgår af tabel 5.6.

Tabel 5.6. Sammenligning af gældende og skærpede harmonikrav med hensyn til gennemsnitlig fosfortilførsel i husdyrgødning og behovet for at føre husdyrgødning ud af området. Beregningerne er foretaget i for scenarium 0* (nu-drift uden biogas og separering)

	Gældende harmonikrav	Skærpede krav, max. 20 kg P pr. ha
Gennemsnitlig kg P pr. ha	25 kg	18 kg
Pct. af gødningsmængde ført ud af området	0 pct.	20 pct.

Selv om der tillades en maksimal tilførsel af husdyrgødning på 20 kg P pr. ha, så tilføres der i gennemsnit blot 18 kg P. Årsagen er, at det ikke forventes, at alle planteavlere og andre med mulighed for at modtage husdyrgødning, vil modtage den maksimalt mulige mængde. Derfor er der i beregningerne forudsat, at alle brug modtager præcis 50 pct. af den maksimalt mulige husdyrgødningsmængde.

I tabel 5.7 er vist resultatet af en beregning af behovet for at overføre husdyrgødning i de forskellige scenarier under forudsætning af, at der maksimalt må tilføres 20 kg P i husdyrgødning pr. ha pr. år.

Tabel 5.7. Behovet for at overføre husdyrgødning i scenarierne

Sc.	Beskrivelse	Behov for overførsel, pct. af gødningsmængde
0*	Nu-drift, ingen afgangning eller gylleseparering	20
0	Nu-drift, ingen afgangning, separering af svinegylle på gårdene	4,3
1	Afgangning af gylle, efterseparering af afgasset gylle på biogasanlægget	1,4
1a	Afgangning af gylle, 2-trins proces efterseparering af afgasset gylle	1,3
1b	Afgangning af gylle, efterseparering, recirkulering af fibre	1,3
2	Forseparering af svinegylle på gårdene, efterseparering, vådoxidering af fiber recirkulering	1,4
2a	Forseparering af svinegylle på gårdene, efterseparering, trykkogning af fiber, recirkulering	1,4
2b	Efterseparering af afgasset gylle, vådoxidering af fiber, recirkulering	1,1
2c	Forseparering af svinegylle på gårdene, efterseparering af afgasset gylle	1,6

Ved nu-drift vil det være nødvendigt at føre hele 20 pct. af den samlede gyllemængde ud af området for at kunne overholde kravet til fosforbalance, som vist i tabel 5.6. Ved den separering, som gennemføres i de øvrige scenarier opkoncentreres fosfor i en fosforrig fiberfraktion, som helt eller delvist anvendes til at føre fosfor i husdyrgødning ud af området. På den måde kan man føre store mængder fosfor bort i et relativt beskedent volumen. Derved opnås en betydelig besparelse på transport af overskydende næringsstoffer. I scenarierne 1, 1a og 2, 2a og 2b resulterer behandling af gyllen (afgasning, vådoxidering, trykkogning mv.), at koncentrationen af fosfor i fiberen øges i forhold til fiber fra separeret rågylle i scenarie 0. Den samme mængde fosfor kan derfor borttransporteres i en mindre mængde i disse scenarier end i scenarie 0.

Udnyttelse af næringsstoffer og indkøb af handelsgødning

I scenarierne foretages der en række behandlinger af gyllen i forskellige kombinationer (afgasning, for- og efterseparering, recirkulering af fiber, vådoxidering og trykkogning). Disse behandlinger ændrer den fysiske og kemiske sammensætning af gyllen, og derfor er gødningsudnyttelsen i marken forskellig fra scenarie 0*, hvor der ingen behandling foretages. I tabel 5.8. er vist en oversigt over den gennemsnitlige omkostning til handelsgødning, forbruget af kvælstof pr. ha og den gennemsnitlige udnyttelsesprocent for kvælstof i husdyrgødning.

Tabel 5.8. Den gennemsnitlige omkostning til handelsgødning, forbruget af kvælstof pr. ha og den gennemsnitlige udnyttelsesprocent for kvælstof i husdyrgødning

Scenarium	Omkostning til handelsgødning, kr. pr. ha	Kg N i handelsgødning pr. ha	Udnyttelsesprocent for N i husdyrgødning
0 ¹⁾	467	82	74
0	467	82	74
1	442	76	81
1a	442	76	81
1b	447	75	81
2	437	73	83
2a	437	73	83
2b	446	75	81
2c	436	73	83

Generelt opnås der en forbedret gødningsudnyttelse ved behandlingen, og omkostningen til handelsgødning falder. En væsentlig årsag til den faldende omkostning er en bedre udnyttelse af kvælstof i husdyrgødningen. Den forbedrede udnyttelse af kvælstof skyldes dels en nedbrydning af organisk bundet kvælstof ved afgangningsprocessen, dels en reduceret ammoniakfordampning som resultat af, at viskositeten af gyllen øges ved afgangning og separering. Gyllen trænger da hurtigere ned i jorden, hvor den beskyttes mod ammoniakfordampning.

Separering på gårdene uden afgangning (scenarie 0) ændrer ikke udnyttelsen af kvælstof, fordi der ved separering alene ikke sker nogen nedbrydning af organisk kvælstof, og den plantetilgængelige kvælstofmængde øges derfor ikke. Derimod sker der en betragtelig øgning af kvælstofudnyttelsen i de øvrige scenarier, hvor der i alle tilfælde indgår afgangning af gyllen. Der er kun marginale forskelle i kvælstofudnyttelsen i scenarierne med afgangning.

Litteraturliste

Plantedirektoratet, (2004). Vejledning og Skemaer, 2004-05.

Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. Sommer, S.G. (2001). Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normtal 2000, DJF rapport Husdyrbrug, nr. 36.

6. Påvirkning af miljøet

Konsulent Torkild Birkmose, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret
Seniorforsker Henrik Bjarne Møller, Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Århus
Universitet

Et argument for at foretage behandling af gylle med separering eller biogasanlæg er, at udnyttelsen af kvælstof øges og at der kan opnås besparelse på indkøb af kvælstof i handelsgødning, jfr. afsnit 5.4. Den øgende udnyttelse kan opnås, fordi tabet af kvælstof til omgivelserne reduceres. Det væsentligste tab af kvælstof sker som udvaskning af nitrat fra rodzonen om vinteren og som fordampning af ammoniak fra stalde, gødningslagre og efter udbringning af husdyrgødning på marken.

Behandling af gylle i et biogasanlæg kan reducere den direkte udledning af metan og lattergas fra gylle. Biogasanlæg producerer desuden energi, som kan erstatte energi, som produceres ved afbrænding af fossil brændsel (CO₂-substitution).

I dette afsnit beregnes de afledte effekter på miljøet af at behandle gyllen i de forskellige scenarier.

6.1. Udvaske af nitrat

Nitratudvaskningen er beregnet ved hjælp af en simpel model, som tager udgangspunkt i, at en fast andel af henholdsvis organisk og uorganisk kvælstof i den udbragte gødning udvaskes. Metoden er beskrevet af Anonym, 2005. Ifølge modellen udvaskes følgende andele af udbragt kvælstof i gødning:

Organisk kvælstof i husdyrgødning	45 pct.
Uorganisk kvælstof i husdyrgødning	30 pct.
Kvælstof i handelsgødning	30 pct.

De beregnede forskelle i nitratudvaskning mellem de forskellige scenarier skyldes således dels nedbrydning af organisk kvælstof til uorganisk og dels tilførsel af forskellige mængder kvælstof i handelsgødning. I tabel 6.1 ses den beregnede kvælstofudvaskning.

Tabel 6.1. Den samlede udvaskning af nitrat i oplandet og i modtagelandet

Scenarium	Samlet nitratudvaskning, ton N i alt	Samlet areal, hektar	Nitratudvaskning, kg N pr. ha
0 ^{*)}	568	10.290	55
0	568	10.290	55
1	530	10.290	52
1a	531	10.290	52
1b	527	10.290	51
2	749	14.740	51
2a	749	14.740	51
2b	754	14.700	51
2c	741	14.700	50

^{*)} Scenarium 0 gennemregnet uden separering af svinegylle på gårdene.

Omsætningen af organisk kvælstof i biogasanlægget forårsager, at den gennemsnitlige udvaskning af nitrat reduceres 3-5 kg N pr. ha. Derimod er der ingen effekt på udvaskningen af alene at separere gylle på gårdene, idet der derved ikke mineraliseres organisk kvælstof.

6.2. Fordampning af ammoniak

Ammoniakfordampningen er kun beregnet for lageret af husdyrgødning og efter udbringning af gylle, idet afgangning og separering ikke forårsager ændringer i fordampningen fra staldene. Fordampningen er beregnet ved at for hver type husdyrgødning at fastsætte en andel af kvælstoffet, som fordamper som ammoniak i henholdsvis lager og efter udbringning. Faktorerne kan ses i tabel 6.2. og er fastsat ud fra en række forskellige kilder. Herunder Sommer & Hansen, 2004, Andersen, 1998, Hansen, 2006, Sommer, 2006 og Ammoniakfordampningsmodellen på PlanteInfo.

Tabel 6.2. Faktorer for tab af kvælstof ved ammoniakfordampning i stald og lager, pct.

	Kvæg- gylle	Svine- gylle	Afgasset gylle	Fiber - fraktion	Væske af svi- ne- gylle	Væske af af- gasset gylle	Handels- Gødning
Lager, pct. af total-N	2	2	4	4	2	4	0
Udbringning, pct. af NH ₄ -N	8,5	10,5	8,2	30	7,4	7,4	2

I tabel 6.3. er vist fordampningen opdelt på husdyrgødning i henholdsvis lager og efter udbringning og handelsgødning.

Tabel 6.3. Ammoniakfordampning fra lager og efter udbringning

Scenarium	Samlet ammoniakfordampning, ton N	Samlet areal, hektar	Samlet fordampning, kg N pr. ha	Ammoniakfordampning, kg N pr. ha		
				Lager	Udbringning	Handelsgødning
0 ¹⁾	98	10.290	9,6	1,8	6,1	1,6
0	99	10.290	9,6	1,9	6,1	1,6
1	114	10.290	11,1	3,6	6,0	1,5
1a	114	10.290	11,1	3,6	6,0	1,5
1b	114	10.290	11,0	3,6	6,0	1,5
2	150	14.740	10,1	2,9	5,8	1,5
2a	150	14.740	10,1	2,9	5,8	1,5
2b	162	14.700	11,0	3,6	5,9	1,5
2c	155	14.700	10,5	2,9	6,2	1,5

¹⁾ Scenarium 0 gennemregnet uden separering af svinegylle på gårdene.

Overordnet set er der kun marginale forskelle i ammoniakfordampningen mellem de forskellige scenarier. Generelt er der en lidt større ammoniakfordampning (ca. 1,5 kg N pr. ha) fra scenarium 1-2c end i scenarium 0. Stigningen skyldes, at ammoniaktabet fra lagertanke med afgasset gylle og væskefraktionen efter separering af afgasset gylle er 4 pct. i forhold til 2 pct. i ikke-afgasset gylle. Efter udbringning er der stort set ingen forskelle. Et relativt højt fordampningstab fra fiberfraktionerne modsvares af et tilsvarende mindre tab fra væskefraktionerne.

6.3. Emission af drivhusgasser

Indsatsen for at begrænse drivhuseffekten har hidtil især været rettet mod at reducere emissionen af CO₂. I forhold til CO₂ er mængderne af metan og lattergas i atmosfæren beskedne, men til gengæld er de to gassers drivhuseffekt langt større. Metan har således et varmpotentiale, som er omkring 21 gange så stort som CO₂, og varmpotentialet for lattergas er cirka 310 gange større end CO₂.

Det er vist, at omsætning af gylle i biogasanlæg reducerer gødningens indhold af let omsætteligt, organisk stof. Derved mindskes gødningens potentiale for metanproduktion, under en efterfølgende lagring. Risikoen for lattergasemission fra dyrkningsjorden er især knyttet til miljøer uden eller med meget lidt ilt, og da organisk stof i gylle, specielt den let omsættelige fraktion, stimulerer iltforbruget i jorden efter gylletilfø-

sel, kan biogasbehandling ligeledes reducere potentialet for lattergasemission fra udbragt gylle.

Der er udregnet effekt af de enkelte koncepter på drivhusgasemissionen (tabel 6.4). Beregningerne bygger på metode udviklet af Sommer *et al.* (2001). Det har været nødvendigt at anvende en række forudsætninger herunder:

1. Efter biogasprocessen er samlet emission ens uanset om det opbevares som flydende eller i 2 fraktioner, da det er det tilbageværende letomsættelige der giver emission og dette vil forblive i den flydende fase.
2. Ved forseparering antages, at det tilbageværende VS i den tynde del opfører sig som ubehandlet svinegylle, og at VS i den faste del der tilføres biogasanlægget opfører sig som afgasset gylle emissionsmæssigt.
3. Emission af N₂O (kg/kg VS) i mark er den samme for flydende separeret som for rågylle på VS basis
4. N₂O fra afgasset fast er den samme som for afgasset svinegylle (kg/kg VS) på VS basis.
5. Mængden af CO₂ reduktion ved substitution af naturgas er udregnet ved først at fratrække det gasforbrug, der er nødvendigt til at producere proces el og procesvarme.

Tabel 6.4. Drivhusgas emission reduktion i de enkelte koncepter ved praksis nært TS indhold i forhold til traditionel gyllebehandling

	Koncept 1	Koncept 1a	Koncept 1b	Koncept 2	Koncept 2a	Koncept 2b	Koncept 2c
Biogas reduktion i emission, ton CO ₂ ¹⁾	6721	6721	6721	3042	3042	9601	3042
Emission ²⁾ fra anlæg, ton CO ₂	-456	-505	-502	-653	-641	-790	-541
Substitution naturgas, ton CO ₂	4940	5602	5964	7710	6667	8604	6495
I alt, ton CO ₂ reduktion pr. år	11205	11819	12183	10336	9068	17416	8996
I alt, kg CO ₂ reduktion pr. ton gylle ab gård	44,5	46,9	33,8	28,1	25,2	48,4	25,0

¹⁾ Reduktionen i CO₂ ved biogas er et resultat af den reducerede metan udledning fra lagring samt lattergasudledning fra marken i CO₂-ekvivalenter som følge af afgasningen i biogasanlægget.

²⁾ Der regnes med tab af 1 pct. af produceret metan til omgivelserne.

Referencen i beregningerne i tabel 6.4 er en situation uden biogasanlæg og uden gårdseparering, det vurderes imidlertid ikke, at separering, der ikke er integreret med biogas, har hverken positiv eller negativ effekt på emissionen af drivhusgasser.

Det fremgår af tabel 6.4, at koncepterne 2, 2a og 2c, hvor forseparering er inkluderet, har en mindre samlet effekt på drivhusgasemissionen såvel totalt set for biogasanlægget som i forhold til 1 ton produceret gylle. Dette hænger primært sammen med, at ikke al gylle tilføres anlægget, og det tilbageværende letomsættelige organiske stof, der ikke afgasses, giver anledning til metan emission på gårdene.

Litteraturliste

Andersen, J. (1998). Ammoniakfordampningsredegørelsen.

Anonym (2005). Rapport fra arbejdsgruppen om afbrænding af fraktioner af husdyrgødning. Redigeret og udgivet af Fødevareministeriet.

Hansen, M.N., Birkmose, T.S., Mortensen, B. Skaaning, K. (2004). Miljøeffekter af bioforgasning og separering af gylle - Indflydelse på lugt, ammoniakfordampning og kvælstofudnyttelse. Grøn Viden Markbrug, nr. 296.

Hansen, M.N. (2006). Pers. komm.

Pedersen, C.Å. (2004). Oversigt over Landsforsøgene, 2004. Dansk Landbrugsrådgivning.

Plantedirektoratet, (2004). Vejledning og Skemaer, 2004-05.

Poulsen, H.D., Børsting, C.F., Rom, H.B. Sommer, S.G. (2001). Kvælstof, fosfor og kalium i husdyrgødning - normtal 2000, DJF rapport Husdyrbrug, nr. 36.

Sommer, S.G. (2006). Pers. komm.

Sommer, S.G., Møller, H.B. og Petersen, S.O. (2001). Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF-rapport nr. 31, Husdyrbrug. Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Danmarks Jordbrugsforskning. Pp53.

Sommer, S.G. & Hansen, M.N. (2004). Ammoniakfordampning fra udbragt gylle. Grøn Viden Markbrug, nr. 303.

7. Vurdering af risiko for smittespredning ved anvendelse af nye biogasteknologier

Sektionsleder ph.d. Dorte Lau Baggesen, Fødevareinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet og Seniorforsker ph.d. Anders Stockmarr, Veterinærinstituttet, Danmarks Tekniske Universitet

7.1. Indledning

Anvendelse af biogasteknologi i energiforsyningen er multifunktionelt, hvor kontrol og begrænsning af risikoen for spredning af infektiøse sygdomme til og mellem husdyrbrug er en af de positive funktioner (Anonym, 2005). Forudsætningen for den smitte-reducerende funktion er imidlertid, at biogasanlægget fungerer korrekt og at transport til og fra anlægget er sikker. Hvis dette ikke er tilfældet, vil omsætning af gylle og animalske biprodukter via biogasanlæg udgøre en betydelig risiko for spredning af sygdomme.

Råvaren til biogasanlæg er typisk husdyrgødning i form af gylle evt. suppleret med animalske biprodukter, der tilsættes for at øge biogasudbyttet af processen. Biogasudbyttet kan også øges ved tilsætning af vegetabiliske produkter fx energiafgrøder, men disse har ikke væsentlig betydning i smitemæssig sammenhæng.

Gylle indeholder fra naturens side store mængder af mikroorganismer, der har udgjort en uundværlig del af dyrenes mikrobielle tarmmiljø. Blandt disse mikroorganismer vil der være bakterier, virus og parasitter, der kan være sygdomsfremkaldende for dyr og mennesker (Anonym, 2005; Christensen, 2006). Indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i gylle fra danske besætninger vil afspejle de infektioner, der allerede forekommer i disse besætninger. I modsætning hertil vil indholdet af sygdomsfremkaldende mikroorganismer i animalske biprodukter inkl. husholdningsaffald kunne være af videre oprindelse, og det kan ikke udelukkes at infektioner, der ikke forekommer i Danmark, vil kunne introduceres ad denne vej. Størst bekymring er således rettet mod risikoen for, at fejlagtig håndtering af sådanne produkter vil kunne føre til introduktion af fx Mund- og Klovsyge eller Svinepest.

Formålet med den veterinære risikovurdering i projektet ”Fremtidens biogasfællesanlæg” er at vurdere potentielle risici for smitteintroduktion og spredning ved implementering af de aktuelle nye gyllehåndterings- og biogasteknologier i dansk landbrug på et tidligt tidspunkt i teknologiudviklingen.

7.2. Udvikling af risikovurderingsmodel

Risikovurderingen er gennemført som en vurdering af den øgede eller reducerede risiko for smittespredning ved gyllehåndtering som beskrevet i forskellige nye teknologier i relation til to referencesystemer. De to referencesystemer er henholdsvis gyllehåndtering uden udnyttelse af biogas men med gårdseparering, og gyllehåndtering ved anvendelse af et konventionelt termofilt biogasanlæg. I risikovurderingen er spredning af *Salmonella* anvendt som eksempel på spredning af et smitstof, der forekommer vidt udbredt i Danmark. Der er ikke inkluderet vurdering af risikoen for introduktion af eksotiske virus fra fx fødevarerester og biprodukter, da de analyserede biogaskoncepter alle er baseret på gylle som eneste råvare. Biogafællesanlæg forudsætter normalt en tilførsel af biologisk materiale på 20-25 pct. for at opnå en rentabel gasproduktion, og produktionen vil da være forbundet med en potentielt større smitte risiko end de biogaskoncepter der er forudsat i dette projekt.

Den konkrete risiko for smittespredning og smitteintroduktion ved konventionel gyllehåndtering eller traditionel biogasteknologi er ikke mulig at fastlægge. Denne risiko indeholder faktorer, som hvor ofte smitstoffer, der kommer på fx støvler vil ende i kontakt med en besætning, og sådanne ting er overordentligt vanskelige at tillægge meningsfulde sandsynligheder. Der er derimod god mening i at undersøge, om nye biogasteknologier medfører en øget eller reduceret smitterisiko. Hvis en teknologi medfører en øget sikkerhed på dette område, således at smitstoffer kun kommer på støvler i fx 1/3 af tilfældene svarende til referencesystemet, så vil smittetrykket af denne vej være reduceret til 1/3, uanset den reelle risiko. Der arbejdes således med ændringer i den relative risiko, fremfor ændringer i den reelle risiko.

Som konsekvens af disse betragtninger vil risikovurderingens resultater fremstå som relative risici, med en værdi over 1 som udtryk for en øget risiko, og en værdi under 1 som udtryk for en reduceret risiko, medens den konkrete risiko ved de forskellige teknologier ikke er kvantificeret.

Risikovurderingen baseres på en model, der beskriver behandling, fordeling og transport af gylle fra den husdyrproducerende ejendom (kildebesætning) til udspredning på landbrugsjord og evt. introduktion i ny husdyrbesætning (terminalbesætning). Modellen beskriver, i skematiseret form, effekten på smittespredning fra de forskellige led i håndteringen (besætning, forseparering, biogasanlæg, mark) samt fra transporten mellem de enkelte led (figur 7.1). Hertil skal specielt om boksen "Forseparering" bemærkes, at den beskrevne effekt er sandsynligheden for at infektiøse enheder 'kommer

videre i systemet". Hvis en teknologi ikke omfatter forseparering, er denne sandsynlighed 1, som så skal fordeles på de 3 mulige udgange fra boksen "Forseparering". Tilsvarende vil nogle af teknikkerne omfatte forseparering af en del af gyllen men ikke alt, og her opsummerer effekten sandsynligheden for at en infektiøs enhed passerer stadiet "Forseparering" til fx "Transport til biogasanlæg", enten ved at den infektiøse enhed ikke er blandt den del af gyllen som forsepareres, eller ved at enheden binder sig til den faste fraktion ved separering, som også køres til biogasanlægget. Der er således tale om et stadie i processen, som måske og måske ikke kommer i spil, men hvor dette opsummeres ved den angivne effekt.

Produktionen af gylle i besætningen med dens potentielle indhold af smitstoffer er udgangspunktet for en mulig smittespredning, og der foretages derfor en vurdering af forekomsten af smitstoffer i rågylle og en vurdering af sandsynligheden for at smitstoffer overføres til de efterfølgende led. I fastlæggelsen af disse sandsynligheder inkluderes viden om smitstoffernes koncentration og henfald i de enkelte led og om de forhold, der påvirker sandsynligheden for overførsel mellem leddene. I tabel 7.1 gives en oversigt over de væsentligste forhold, der påvirker sandsynligheden for forekomst, overførsel og reduktion af smitstoffer i det enkelte led, og som er inkluderet i risikovurderingmodellen.

For mange af de forhold, der er inkluderet i risikovurderingsmodellen findes ingen eller kun i meget begrænset omfang data, der kan kvantificere og dokumentere betydningen. Dette påvirker hvilke typer resultater, det er muligt at opnå i risikovurderingen og er således en væsentlig del af årsagen til, at resultaterne angives som relative risici mellem de forskellige scenarier for smitteniveau. Ved udarbejdelse af modellen er der for områder med utilstrækkeligt datagrundlag taget kontakt til specialister og praktikere, der arbejder indenfor området. En del af modellens datagrundlag er således baseret på ekspertudtalelser og er det bedst mulige estimat.

overførsel med personer ("gummistøvler") og udstyr som fx vogne, der deles mellem ejendomme.

Forholdet mellem disse to typer af smitteoverførsel er centralt, da det er dette forhold der i overvejende grad styrer den relative risiko. "Aktivitetssmitte" vil have en relativ høj sandsynlighed for at ende i kontakt med foderet til en besætning på et tidspunkt, hvor smitstoffet stadig er i live, men mængden af smitstof udgør en forsvindende del i forhold til hvad der spredes ud på marken. Omvendt gælder det for "markssmitte" at et dyr, som krydser en mark, hvorpå der er spredt gylle, tilsammen vil betræde en vis procentdel af marken, når antal skridt og "fodareal" gøres op, ligesom man må forvente, at et vist antal dyr vil krydse/betræde marken i den periode, hvor smitstoffet stadig er i live. Dyr vil komme i kontakt med langt mere smitstof, end hvad der må forventes at lande på gummistøvler etc., men sandsynligheden for at smitstoffet fra marken lander i foderet, mens det stadigvæk er aktivt, er langt mindre fra dyr end fra en "gummistøvle".

På biogasanlægget er den positive effekt afhængig af, at varmebehandlingen eller anden fysisk behandling forløber korrekt. Der er ved enhver proces en risiko for menneskelige eller tekniske fejl. Imidlertid vurderes det, at de tekniske fejl vil have meget lille indflydelse på smitstoffers overlevelse. Den væsentligste mulighed for en forøget overlevelse af smitstoffer er en utilsigtet reduktion af temperaturen i reaktoren i biogasanlægget. Imidlertid vil en sådan reduktion først ske efter et længere antal dage med fx svigtende varmelegemer, og det vurderes, efter konsultation med en række driftsledere på eksisterende biogasfællesanlæg, at sandsynligheden for dette er forsvindende. Imidlertid er der mulighed for andre systemfejl, som der er taget hensyn til ved at fastsætte en minimumsholdetid for gyllen i anlægget, som er langt under den forventede holdetid, men som realistisk kan betragtes som en garanteret mindstetid som gyllen vil opholde sig i anlægget. Dermed arbejdes der med 'worst case' scenarier for hvad angår biogasfællesanlæg, og man må derfor forvente, at den beskrevne effekt af biogasfællesanlæg overfor smitstofreduktion er en minimumseffekt, således at der ikke kan udelukkes en kraftigere effekt relativt til referencesystemet uden biogasanlæg.

7.3. Resultater og diskussion af risikovurdering for smittespredning ved gylle-håndtering og anvendelse af biogasteknologier

Den udviklede risikovurderingsmodel er skematisk beskrevet i figur 7.1. I modellen er indarbejdet sandsynligheder for, at et smitstof overføres fra et led til det næste.

Størstedelen af de nødvendige sandsynligheder er fastlagt på grundlag af dokumenteret viden (tabel 7.1), medens sandsynlighederne der repræsenterer henholdsvis ”aktivitetssmitte” (pil mrk. 1) og ”markssmitte” (pil mrk. 2) ikke er kendte, men tillægges forskellige værdier i scenarier, hvor konsekvenserne for de forskellige koncepter for biogasteknologi undersøges.

Tabel 7.1. Væsentlige forhold, der influerer på sandsynligheden for forekomst af smitstoffer i de enkelte led i modellen og for overførslen af smitstoffer mellem de enkelte led og som er inkluderet i risikovurderingsmodellen

	Forhold der påvirker forekomst og reduktion af smitstoffer i de enkelte led
Besætning	Rå gylle vil kunne indeholde smitstoffer i varierende mængder (Olsen & Larsen 1987)
Forseparering (kemisk fældning)	Smitstoffer vil findes i begge fraktioner. Det vurderes at der sker en opkoncentrering af smitstoffer i den faste fraktion (Sørensen et al., un-published 2006)
Biogasbehandling – konventionel termofil proces	De fleste smitstoffer (eks. modelorganismerne) reduceres væsentligt ($> 3-4 \log_{10}$) ved udrådning ved 55 °C i 4 timer eller ved 70 °C i 1 time (Olsen & Larsen, 1987; Lund et al., 1996).
Ny biogasteknologi, Serieudrådning	Der vil være en potentiering af den overfor beskrevne effekt
Ny biogasteknologi, vådoxidering	Ved vådoxidering udsættes biomassen for kraftige fysiske og kemiske påvirkninger baseret på høj temperatur (170 °C), højt tryk (15-20 bar), oxidering gennem tilsætning af iltningmiddel og pludseligt trykfald (flash). Foreløbige resultater dokumenterer at denne behandling eliminerer alle smitstoffer (Ahring, personlig meddelelse, 2006).
Ny biogasteknologi, Trykkogning	Ved trykkogning udsættes biomassen for 125- 170 °C i varierende tid. Behandlingen kan ligestilles med standardbehandling ved 120 °C, 3 bar i 20 min., der vurderes at eliminere alle smitstoffer.
Efterseparering (dekanter centrifuge)	Smitstoffer vil findes i begge fraktioner. Det vurderes at der sker en opkoncentrering af smitstoffer i den faste fraktion (Sørensen et al., un-published 2006). Effekten af efterseparering er indeholdt i den samlede effekt af biogasanlægget.
Mark	Efter spredning på mark vil smitstofferne henfalde over tid som effekt af UV-lys, udtørring mv. Tidsrummet, hvor der er en potentiel risiko for at smitstofferne vil blive overført til en besætning, afhænger af koncentrationen af smitstoffer i det spredte materiale. Niveaueet er potentielt højt i rå gylle, men lavt i udrådnat gylle (Boes et al, 2005, Jensen et al, 2006).
	Forhold der påvirker overførsel af smitstoffer fra et led til et andet
Overførsel fra besætning til mark	Relevant i referencesystem uden biogas: gylle udbringes lokalt ved brug af konventionelt udstyr (gyllevogne). Der er høj risiko for spild af små mængder og dermed for overførsel af smitstoffer til eksterne områder på fx offentlig vej, hvorfra det kan overføres til anden besætning.
Overførsel fra besætning til biogasanlæg	Gylle og fibre transporteres i specielle lukkede containere og risiko for spild vurderes som lav og uafhængig af transportafstanden
Overførsel fra biogasanlæg til lagertank/mark	Udrådnat biomasse transporteres i specielle lukkede containere og risiko for spild vurderes som lav og uafhængig af transportafstanden
Overførsel fra mark til anden besætning	Smitstoffer skal overføres passivt med fx dyr og fugle.
Overførsel fra eksternt område til besætning	Smitstoffer skal overføres passivt med fx dyr og fugle eller med udstyr og personer.

I forbindelse med vurdering af de konkrete relative risici forbundet med traditionel gyllehåndtering uden biogasanlæg, ved konventionelt biogasanlæg og ved nye biogaskoncepter er der lavet fem scenarier, hvor forholdet mellem ”marksmitte” og ”aktivitetssmitte” i scenarie 0 er sat således, at den smittereducerende effekt af de 2 referencesystemer, intet biogasanlæg og et traditionelt termofilt anlæg, er ens. I scenarie -1 og -2 er forholdet mellem ”marksmitte” og ”aktivitetssmitte” øget med henholdsvis en faktor 10 og en faktor 100 i forhold til scenarie 1, således at ”marksmitte” tillægges større betydning; og i scenarie 1 og 2 er forholdet mellem ”marksmitte” og ”aktivitetssmitte” reduceret med henholdsvis en faktor 10 og en faktor 100 i forhold til scenarie 1, således at ”aktivitetssmitte” tillægges større betydning. Scenarierne er valgt som redskab til at vurdere den relative betydning af de to typer smitte og er ikke udtryk for absolutte værdier for smitterisikoen. De anførte relative risici for Salmonella-smittetryk (tabel 7.2) fortæller derfor om størrelsesforholdet for smitterisikoen mellem de forskellige scenarier, og ikke om den eksakte smitterisiko.

Tabel 7.2. Oversigt over relative risici ved 5 forskellige koncepter for biogasanlæg; herunder konceptet 'intet anlæg'. Anlæg med termofil reaktor er benyttet som reference, og repræsenterer den i dag benyttede teknologi

	Scenarie -2 Meget større betydning af marksmitte	Scenarie -1 Større betydning af marksmitte	Scenarie 0	Scenarie 1 Større betydning af aktivitetssmitte	Scenarie 2 Meget større betydning af aktivitetssmitte
Intet biogasanlæg	15,4	2,72	1	0,82	0,80
Anlæg med termofil reaktor (reference)	1	1	1	1	1
Seriekobling af 2 termofile anlæg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Trykkogning	1,27	0,64	0,55	0,54	0,54
Vådoxidation	1,27	0,64	0,55	0,54	0,54

Af tabel 7.2 fremgår, at i scenarier hvor ”marksmitten” har større betydning er der en meget reduceret risiko for smittespredning, når gylle håndteres via et biogasanlæg end når den spredes direkte på marken. Samtidigt vises det også, at de nye biogaskoncepter alle giver en yderligere reduktion i smitterisikoen i forhold til det konventionelle termofile anlæg. Omvendt fremgår det for scenarier hvor ”aktivitetssmitte” tillægges større betydning, at der her er en reduceret risiko ved spredning af rågylle sammenlignet med gyllehåndtering via biogasanlæg. Dette skyldes, at der ved anvendelse af biogasanlæg sker en øget håndtering i forbindelse med evt. separering, transport og omladninger, hvilket giver den øgede risiko. I scenariet, hvor de to referencesystemer

tillægges samme effekt, er der en reduceret risiko for smitte ved nye biogassystemer sammenlignet med traditionel gyllehåndtering. Denne gevinst forsvinder dog i scenarie -2 hvor "marksmitte" tillægges meget stor betydning, for hvad angår trykkogning og vådoxidation. Grunden til dette er at systemerne med trykkogning og vådoxidation opererer med forseparering, hvorefter den flydende fraktion køres ud på markerne, medens referencesystemet og systemet med seriekobling af 2 termofile anlæg ikke opererer med forseparering. Med så høj en vægt på marksmitte vil gevinsten i smitte-mæssig reduktion bortvejes af den forøgede risiko der er ved at køre en del af gyllen, den flydende fraktion fra forsepareringen, ud på markerne direkte.

De meget forskellige relative risici, der fremkommer for de forskellige scenarier, viser den store betydning en ændret fordeling mellem "mark-smitte" og "aktivitetssmitte" har, og det bliver derfor centralt for modellens praktiske anvendelighed at kunne fastlægge, hvorledes den indbyrdes vægtning mellem de to smitteveje er. Såfremt et scenarie med større betydning af "aktivitetssmitte" er et udtryk for den virkelige verden, måtte man forvente, at det gennem årtiers brug af konventionel biogasteknologi, var erkendt at denne form for gylle håndtering var forbundet med større risiko for smittespredning end traditionel gyllehåndtering. Dette er ikke tilfældet, hvilket peger på, at et scenarie med større vægt på "marksmitte" er et bedre udtryk for virkeligheden. For et sådant scenarie taler også, at man i forbindelse med anvendelse af biogas har indført en række håndteringsregler, der har til formål at begrænse "aktivitetssmitte". Der anvendes ved biogassystemer mere sikre transportvogne end ved traditionel gyllehåndtering, og der er ved anlæg af biogasanlæg regler der sikrer, at afstanden til husdyrhold er tilstrækkelig stor til, at smitteintroduktion undgås.

Antages det således, at "marksmitte" har større betydning i forhold til "aktivitetssmitte" viser risikovurderingen, at anvendelse af biogasteknologi til håndtering af rågylle giver anledning til en betydelig reduktion i risikoen for smittespredning, her eksemplificeret ved risikoen for spredning af salmonella. Samtidigt viser modellen, at de nye biogasteknologier alle kan give yderligere smittereduktion set i forhold til de konventionelle teknologier, såfremt effekten af marksmitte ikke er for voldsom som i scenarie -2, og at seriel forbindelse af to termofile reaktorer giver bedre smittereduktion end termofile biogasanlæg med recirkulation af materiale, der henholdsvis trykkes eller vådoxideres. Det bemærkes, at det ikke er den nye teknologi i sig selv, der eventuelt står i vejen for en smittereducerende effekt, men de tiltag der gøres til behandling af gyllen for at få økonomien til at hænge sammen, altså separering af gyllen for at skulle transportere en mindre mængde den lange vej til biogasfællsanlægget.

Udarbejdelsen af modellen har endvidere påpeget vigtigheden af, at gyllehåndtering i forbindelse med biogasanlæg sker på et meget højt hygiejnisk niveau hvor spild og krydskontaminering hindres. Hvis de hygiejniske forholdsregler lempes, vil den relative vægtning mellem ”marksmitte” og ”aktivitetssmitte” ændres, og der vil i yderste konsekvens kunne opstå en situation, hvor anvendelse af biogasteknologi øger risikoen for spredning af infektioner mellem husdyrbesætninger. Dette vil være en meget uønsket situation for såvel husdyr- som biogasbranchen.

Litteraturliste

- Anonym, 2005. Opinion of the BIOHAZ Panel vis-à-vis biological risks of biogas and compost treatment standards of animal by-products (ABP). (Adopted on 7 September 2005. (Question N° EFSA-Q-2003-097)).
- Boes J, Alban L, Bagger J, Møgelmoose V, Baggesen DL, Olsen JE. Survival of *Escherichia coli* and *Salmonella* Typhimurium in slurry applied to clay soil on a Danish swine farm. Preventive Veterinary Medicine, 69 (2005) 213-228.
- Christensen, J. (red.). Fremtidens biogasfællesanlæg – Nye anlægskoncepter og økonomisk potentiale. FOI – Workingpaper no.4/2006. p. 50-56.
- Jensen, A. N., Dalsgaard, A., Stockmarr, A., Nielsen, E. M., Baggesen, D. L (2006): Survival and Transmission of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium in an Outdoor Organic Pig Farming Environment. Applied and Environmental Microbiology, Mar. 2006 p. 1833-1842.
- Lund, B., Jensen, V.F., Have, P., Ahring, B. 1996. Inactivation of virus during anaerobic digestion of manure in laboratory scale biogas reactors. *Antonie van Leeuwenhoek*, 69, 25-31.
- Olsen, J.E., Larsen, H.E. 1987. Bacterial Decimation Times in Anaerobic Digestions of Animal Slurries. *Biological Wastes* 21, 153-168.

8. Driftsøkonomi

Forsker Kurt Hjort-Gregersen, Fødevarerøkonomisk Institut

8.1. Indledning

De driftsøkonomiske forhold analyseres ved hjælp af økonomiske systemanalyser. Systemanalysen er karakteriseret ved, at principielt alle omkostninger og indtægter i det samlede system opgøres. Systemerne omfatter i denne forbindelse alle led i kæden fra gyllen ligger i fortanken på bedrifterne til næringsstofferne er udnyttet i planterne på marken. Ind i mellem er afholdt omkostninger til transport, for- eller efterseparering, forbehandling, selve biogasanlægget samt opbevaring og udkørsel på forskellig måde afhængigt af, hvilket scenarie der analyseres. Desuden opgøres indtjeningen fra energisalg.

Systemanalysens styrke ligger i, at systemerne kan sammenlignes, hvorved den indbyrdes konkurrencedygtighed kan udledes, men også de enkelte omkostningselementer kan studeres, og deres konsekvenser for andre dele af systemet klarlægges. I nogle tilfælde kan der desuden være tale om synergieffekter.

8.2. Elementer i analysen

I det følgende gives en kort beskrivelse og forklaring på de elementer der indgår i analysen. Der er anvendt samme tekst, som indgår i tabelhovedet i resultatskemaerne i tabellerne 8.1 og 8.10.

Udgangsmængden

Er den samlede mængde gylle i oplandet. Denne mængde skal i alle scenarier enten finde slutanvendelse som gødning på marker i oplandet eller overskydende mængder eksporteres til andre områder.

Dimensioneringsmængden

Er den mængde gylle og fibre, der tilføres anlægget. Dimensioneringsmængden svarer således til biogasanlæggets årlige behandlingskapacitet.

Forseparering

I nogle scenarier foretages der en forseparering af en del af svinegyllen på gårdene. Der forudsættes anvendt en båndfilterseparator og kemisk fældning. Fiberfraktionen

kan efterfølgende transporteres til biogasanlægget eller ud af området. I de scenarier, hvor fiberfraktionen føres til anlægget, er andelen af forsepareret gylle fastlagt ud fra et ønske om at maksimere tørstofindholdet i biogasanlægget.

Opbevaring

Der foretages beregninger af omkostninger til opbevaring af gylle og separeringsprodukter. For gylle og tynd fraktion forudsættes opbevaringskapaciteten at udgøre 9 måneders opbevaring i gylletanke, og fiberfraktion forudsættes opbevaret i overdækkede markstakke. Lageromkostningerne forudsættes afholdt af de husdyrproducerende landmænd i oplandet. Også for den del der anvendes udenfor området.

Udkørsel

Spredning af gylle, tynd fraktion og fiberfraktion forudsættes foretaget med konventionelt materiel. Som ovenfor bærer producenterne i oplandet udbringningsomkostningerne uanset, hvor husdyrgødningen anvendes. Der er forudsat en gennemsnitsafstand på 1 km mellem bedrift og mark, som har betydning for udbringningsomkostningerne. I scenarier, hvor biogasanlægget indgår, er den forudsatte afstand 25 pct. lavere, idet der forudsættes etableret decentrale lagertanke og markstakke, hvorved den gennemsnitlige transportafstand kan reduceres en del.

Borttransport af overskudsfibre

I scenarier uden biogasanlæg bekoster landmændene i oplandet borttransporten af overskydende næringsstoffer med fiberfraktion. I scenarier med biogasanlæg varetager biogasanlægget denne transport og afholder omkostningerne hertil. Transporten sker med 30 tons lastbil.

Køb af handelsgødning

Under biogasprocessen sker der en vis mineralisering af organisk kvælstof, som øger udnyttelsen af kvælstofindholdet. Forbehandling og separering ændrer sammensætningen af næringsstoffer i produkterne. Derfor varierer næringsstofværdien i husdyrgødningen i de forskellige scenarier. Værdien heraf reguleres via køb af supplerende handelsgødning.

Udkørsel af handelsgødning.

Omkostningerne hertil varierer, da mængden af handelsgødning er forskellig scenarierne imellem.

Ind og udtransport af gylle

Biogasanlægget forestår og betaler for ind og udtransport af gylle. Omkostningerne hertil beregnes i særskilte modeller som betaling for transporten til lokal vognmand/maskinstation. I praksis ses imidlertid ofte, at anlæggene selv foretager investeringerne i transportmateriel.

Transport af fiberfraktion til anlægget

I de scenarier, hvor forsepareret fiberfraktion tilføres anlægget, forudsættes transporten at foregå i 20 tons containere på lastvogn. Transporten forestås af biogasselskabet, som derfor afholder omkostningerne hertil.

Forbehandling

I nogle scenarier foretages en forbehandling af recirkulerede fibre. Der analyseres for to typer af forbehandling, vådoxidering og trykkogning.

Biogasanlæggets nettoresultat

Nettoresultatet fremkommer ved beregning af biogasanlæggets (biogasselskabets) indtægter og omkostninger. Der er taget udgangspunkt i ”dagens anlæg”, som det er beskrevet i FOI rapport 136, som udtryk for bedst kendte teknologi i 2002. Dog er driften nu ændret til termofil drift.

Efterseparering.

I alle scenarier med biogasanlæg foretages der en hel eller delvis efterseparering af den afgassede gylle. I nogle tilfælde separeres hele mængden, fordi en delstrøm af fibrene ønskes recirkuleret. I andre tilfælde separeres kun den del der er nødvendigt for fjernelse af overskydende fosfor. Til efterseparering er forudsat anvendelse af en decantercentrifuge.

8.3. Generelle forudsætninger

Kalkulationsrenter

Der regnes i 2005 priser. Der er anvendt en realrente på 3 pct. og en generel prisstigningstakt på 2,5 pct..

Udgangsmængder

Den samlede gyllemængde i de definerede oplande ved praksisnært tørstofniveau

Scenarie 0-1	252000 tons
Scenarie 2	360000 tons

Og ved tørstofniveau svarende til normtallene

Scenarie 0-1	178000 tons
Scenarie 2	254000 tons

Transportafstande

Følgende transportafstande mellem bedrifter og anlæg er forudsat

Scenarie 1	12 km
Scenarie 2	15 km

Følgende afstande ved borttransport af overskydende fiber er anvendt

Scenarie 0-1	50 km
Scenarie 2	75 km

Gas og elpriser

Det er forudsat, at biogasanlægget primært sælger biogas. Prisen herfor er fastsat til 2 kr. pr. m³ biogas med 65 pct. methan, svarende til niveauet, der blev anvendt ved dagens anlæg i FOI rapport 136. Det svarer også til hvad eksisterende biogasanlæg, der sælger biogas til i øvrigt naturgasfyrede kraft varmemærker, har opnået i de senere år. Anlægget forudsættes imidlertid selvforsynet med procesvarme fra eget kraftvarmeanlæg dimensioneret til formålet, og derfor er der en vis elproduktion og dermed elsalg. Salgsprisen for elproduktionen er fastsat i overensstemmelse med gældende regler herfor nemlig 60 øre pr. kwh i 10 år, herefter 40 øre. Prisreduktionen efter 10 år, vil imidlertid forventeligt også påvirke salgsprisen for biogas, som derfor er korigeret for den potentielt reducerede elsalgsindtægt fra år 11.

Investeringer i biogasanlæg og KV-anlæg

	Arlig behandlings- Kapacitet, 1000 tons	Biogasanlæg Investering, 1000 kr.	KV-anlæg Investering, 1000 kr.
Scenarie 1	252	62600	3100
Scenarie 1a	252	62600	3100
Scenarie 1b	252	62600	3100
Scenarie 2	173	50900	2200
Scenarie 2a	173	50900	2200
Scenarie 2b	360	78600	4300
Scenarie 2c	173	50900	2200

Oversigten viser de estimerede investeringer i hhv. biogasanlæg og kv-anlæg. Tallene omfatter ikke investeringer i anlæg til forbehandling og separering. Transportmateriel er ej heller inkluderet. Det fremgår at biogasanlægget i scenarier 2, 2a og 2c dimensioneres mindre, og dermed investeringsmæssigt billigere, end i de øvrige scenarier, selvom det servicerer det samme opland som i 2b, og et større opland end i scenarie 1, 1a og 1b. Det skyldes separeringen på gårdene, hvorved der spares behandlingskapacitet til den tynde fraktion.

8.4. Driftsøkonomiske resultater

De driftsøkonomiske analyser er gennemført for to niveauer af tørstofindhold i gyllen i oplandet. Det ene er med praksisnært tørstofindhold, som vil være det sandsynligste niveau for nye anlæg, tabel 8.1. Det andet niveau svarer til de normtal for husdyrgødning, som er udarbejdet af Danmarks Jordbrugsforskning, tabel 8.10. Disse resultater er medtaget for at illustrere betydningen af, at der gøres en indsats for at kunne levere gylle med højt tørstofindhold til anlægget.

Resultaterne med praksisnært tørstofniveau er vist i tabel 8.1. De første 7 søjler i tabellen har til formål at hjælpe læseren til at få overblik over, hvad de forskellige scenarier indeholder. Derefter kommer de enkelte systemers omkostninger til de forskellige elementer, der indgår i analysen. De to første er opbevaring og udkørsel af gylle. Dernæst kommer landmændenes egen borttransport af overskudsfibre, der kun er aktuel i scenarie 0. I de øvrige scenarier er det biogasanlægget der varetager denne opgave. Derefter kommer køb og udkørsel af handelsgødning, der som nævnt afhænger af mulighederne for at udnytte næringsstoffer fra husdyrgødning i oplandet. Endelig er der omkostninger til gårdseparering, dvs. den forseparering, der foregår på gårdene, og som landmændene forudsættes at betale, enten af hensyn til at få mere tørstof tilført biogasanlægget, eller for at kunne fjerne overskydende næringsstoffer. Den næste søjle summerer omkostningerne på landbrugssiden, som efterfølgende udtrykkes pr. ton udgangsmængde.

Tabel 8.1. Resultatskema, praksisnært tørstofindhold i gyllen

Resultatskema fremtidens biogasanlæg, scenarie 0-2, P balance som harmonikriterie, med borttransport af overskydende næringsstoffer med fiberfraktion, TS som praksis
Talstørrelser og beløb i 1000 tons og 1000 kr. i 2005 priser
Negative tal betyder, at der er tale om en negativ nettoomkostning, altså et overskud

	Udgangsmende 1000 ton/år	Dimensioneringsmængde 1000 ton/år	Forseparering , andel af svinegylle	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Opbevaring	Udkørsel	Bortrans overskudsfiber	Køb Handelsgødning	Udkørsel handelsgødning	Gårdseparering	Ldbr.ugsside i alt, 1.000 kr.	Kr pr ton udgangsmængde	Ind/udtransport af gylle	Indtransport fiber	Forbehandling af fibre	Biogasanlæggets nettoresultat	Efterseparering	Andel eftersepareret	Borttransport overskudsfiber	Biogasside i alt, 1.000 kr.	Behandlingspris, kr pr ton dimmange	System i alt, 1.000 kr	kr/ ton udgangsmængde	Methanudbytte m³ CH₄/ton input
Scen 0	252	0	35 pct.	-	-	-	3891	2595	381	3466	393	1530	12256	49	0	0	0	0	0	0	0	0	12256	49	0,0	
Scen 1	252	252	-	+	-	-	3994	2418	0	3125	349	0	9886	39	4461	0	0	2275	402	29 pct.	141	7279	29	17165	68	12,1
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	3999	2415	0	3117	348	0	9879	39	4461	0		1416	402	29 pct.	130	6409	25	16288	65	13,3
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	3999	2415	0	3270	355	0	10039	40	4461	0	0	1468	1078	100 pct.	133	7140	28	17179	68	13,3
Scen 2 1)	360	173	78 pct.	+	+	(+)	5704	3455	0	4387	470	3621	17637	49	3301	875	1284	3369	781	100 pct.	252	3124	18	20761	58	25,1
Scen 2a 1)	360	173	78 pct.	+	+	{+}	5702	3455	0	4393	471	3621	17642	49	3299	875	791	1785	781	100 pct.	256	4086	24	21728	60	24,7
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	5716	3449	0	4509	489	0	14163	39	7061	0	1347	-454	1483	100 pct.	212	9649	27	23812	66	14,6
Scen 2c 1)	360	173	78 pct.	+	-	-	5692	3461	0	4620	498	3621	17892	50	3286	876	0	1484	256	30 pct.	292	3226	19	21118	59	20,8

{+} = Trykkogning af recirkuleret fiber
(+) = Vådoxidation af recirkuleret fiber
1) Andelen af svinegyllen separeres på gårdene, fiberen og usepareret kvæg og svinegylle transporteres til anlægget.

De næste søjler vedrører biogasanlægget. Først vises omkostninger til ind- og udtransport af gylle og fibre, dernæst omkostninger til forbehandling på anlægget. Det er imidlertid ikke den indkomne biomasse, der forbehandles, men fraseparerede fibre fra afgasset gylle, der forbehandles og recirkuleres. Herefter anføres biogasanlæggets nettoresultat. Dette er en funktion af de beregnede omkostninger til drift af et biogasanlæg med en behandlingskapacitet svarende til dimensioneringsmængden, og det salg af biogas og el, som produktionen giver anledning til. Et negativt tal i tabellen på denne plads betyder, at selve anlægget er rentabelt, at det giver overskud. Den næste søjle omfatter omkostninger til efterseparering af afgasset gylle. Som nævnt separeres den mængde, der er nødvendig for at kunne fjerne fosforoverskuddet med fiberfraktionen. Men i nogle scenarier, hvor der sker recirkulering af fibre er hele mængden forudsat separeret. Det har selvsagt afgørende betydning for omkostningernes størrelse. Andelen af afgasset gylle, der eftersepareres, er vist i tabel 8.1 Den efterfølgende kolonne viser omkostninger til borttransport af overskudsfibre i alle scenarier med biogasanlæg.

Herefter summeres hele biogassiden. Det fremgår, at alle tal i denne kolonne er positive, hvilket betyder, at biogasfællesanlægget, når der tages hensyn til transport, forbehandling og separering på anlægget ikke i noget tilfælde er rentabelt. Disse omkostninger kan ses som udtryk for biogasdelens netto behandlingsomkostninger, og relateres disse til den behandlede mængde fås en behandlingspris pr. ton. input, som er vist i næste søjle.

Landbrugsside og biogasside summeres i søjlen system i alt. Når systemernes samlede nettoomkostninger divideres med gyllemængden i oplandet fås et udtryk nettoomkostningen pr. ton gylle i oplandet for hvert system. I scenarie 0 er dette tal beregnet til 49 kr. pr. ton. Dette tal er centralt for analysen, idet scenarie 0 skal opfattes som en reference til alle de efterfølgende behandlingsscenarier. For at disse kan være attraktive løsninger for oplandets landmænd, må nettoomkostningen for de pågældende systemer være mindre end eller lig med omkostningen i referencen.

Et af analysens hovedresultater er, at ingen af scenarierne med biogas kan matche referencens omkostninger på 49 kr. pr. ton. Dette er imidlertid ikke overraskende, idet der ikke tilføres organisk affald, hvorved gasproduktionen som udgangspunkt erfaringsmæssigt ikke er høj nok til at nå driftsøkonomisk rentabilitet. Det fremgår af tabellen, at det traditionelle biogasfællesanlæg, der er kaldt scenarie 1, har de højeste beregnede omkostninger pr. ton for det samlede system.

Selvom de efterfølgende behandlingsscenarier ikke er i stand til at præstere et overskud for biogassiden samlet set, er det dog muligt at opnå lavere omkostninger pr. ton for det samlede system end scenarie 1, nogle dog mere end andre.

Resultaterne for scenarie 1a, hvor reaktorerne forudsættes serieforbundet uden meromkostninger, viser, at der i kraft af en højere energiproduktion er et potentiale for at reducere systemets samlede omkostninger med 3 kr. pr. ton i forhold til scenarie 1. Scenarie 1b, hvor fiber recirkuleres medfører ligeledes en højere energiproduktion, men denne opvejes af meromkostninger til efterseparering, hvorved der ikke opnås nogen samlet forbedring i forhold til scenarie 1. I scenarie 2 og 2a tilføres anlægget forsepareret fiber. Den afgassede gylle separeres og fiberen forbehandles (vådoxidering i 2 og trykkogning i 2a) og recirkuleres. Ved disse tiltag øges energiproduktionen betragteligt, men også omkostningerne øges. Dog ikke mere end at der for systemet som helhed opnås en reduktion i omkostningerne pr. ton på 9-10 kr. i forhold til scenarie 1. Resultaterne tyder imidlertid på, at en tilsvarende gevinst kan opnås uden forbehandling, nemlig ved blot at tilføre forsepareret fiber, som i scenarie 2c, hvor resultaterne viser en reduktion på 9 kr. pr. ton for det samlede system i forhold til scenarie 1. Ifølge beregningerne betaler scenarie 2b ikke rigtig for forbehandlingen, og selvom det meget store anlæg erfaringsmæssigt skulle drage nytte af størrelsesøkonomiske fordele, opvejes dette af store omkostninger til forbehandling og efterseparering.

Det er afgørende, at tørstofindholdet i anlægget maksimeres for højere gasudbytte og bedre udnyttelse af udrådningskapaciteten. Resultaterne viser tydeligt, at de scenarier, hvor tørstofindholdet kan justeres ved tilsætning af forsepareret fiber er de gunstigste. Når tørstofindholdet kan øges fra ca-5 pct. ved scenarie 1 til 10 pct. i scenarie 2, 2a og 2c ved hjælp af fibertilførsel, og tørstofindholdet jo er grundlaget for energiproduktionen, så øges kapacitetsudnyttelsen og enheds behandlingsomkostningerne falder målt pr ton tørstof. Denne effekt er vigtig for resultaterne. Det skal imidlertid nævnes, at der ikke er korrigeret for, at driftsudgifterne formentlig vil være højere ved højere tørstofniveauer, fx energiomkostninger til pumpning og omrøring, ligesom risikoen for opbygning af flydelag også øges ved højere tørstofniveauer. Driftsomkostningerne er estimeret ud fra dagens anlæg (FOI rapport 136), hvor der var forudsat tilsætning af 20 pct. organisk industriaffald, svarende til hvad eksisterende fællesanlæg anvender, og som erfaringsmæssigt ofte har tørstofindhold på ca. 8 pct.. I betragtning heraf kan det antages, at driftsomkostningerne er en smule overvurderede ved scenarier med de laveste tørstofprocenter, og en smule undervurderet i scenarier med de højeste tørstofprocenter. I scenarier med tilførsel af forsepareret fiber kan der

opstå ammoniakhæmning i reaktorerne, hvorved gasproduktionen falder. Dette forudsættes imødegået ved en effektiv efterudrådning i overdækkede lagertanke

I tabel 8.2 søges enhedsomkostningerne på landbrugssiden og på biogassiden sammenholdt. For landbrugssiden retter interessen sig mod de samlede håndteringsomkostninger, der derfor er udtrykt pr. ton udgangsmængde. På biogassiden er det ikke meningsfyldt at holde behandlingsomkostningerne op mod udgangsmængden, men derimod kun den mængde der tilføres anlægget.

Tabel 8.2. Enhedsomkostninger landbrugsside og biogasside

	Udgangsmænde, 1000 t	Dimensioneringsmængde mængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Landbrugsside, Kr. pr ton udgangsmængde	Biogasside, Kr. pr ton behandlet
Scen 0	252	0	35 pct.	-	-	-	49	0
Scen 1	252	252	-	+	-	-	39	29
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	39	25
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	40	28
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	49	18
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	49	24
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	39	27
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	50	19

Det fremgår, at landbrugssiden har størst fordel af de mere traditionelle scenarier, idet separeringsomkostningerne her er forudsat at ligge hos biogasanlægget. Omkostninger til separering på gårdene konverteres til en fordel på anlægget, idet nettobehandlingsomkostningerne på anlægget er lavere i disse tilfælde på grund af den højere gasproduktion. Der synes imidlertid også at være plads til, at landmændene i de mere traditionelle systemer, i et vist omfang betaler for den behandling og efterseparering, der finder sted på anlægget, frem for at foretage gårdseparering, for på den måde at kompensere anlægget for denne service.

Enhedsomkostningerne på biogassiden viser, at de scenarier, hvor tørstofindholdet opgraderes ved hjælp af forseparering, er de mest rentable med scenarie 2 og 2c som de absolut bedste. Men der mangler dog fortsat 18-20 kr. pr. ton input i at opnå absolut rentabilitet i forhold til situationen uden biogasanlæg, scenarie 0. Dette når biogassiden betragtes isoleret uden hensyntagen til effekterne på landbrugssiden. Ses det samlede system under et vil kravet til merindtjening være omkring 10 kr. pr. m³ udgangsmængde, jf. tabel 8.1.

8.5. Uddybning af analyserne

Et af formålene med at foretage separering i forbindelse med et biogasanlæg er, at transportomkostningerne derved kan reduceres. Indtransporten af fiberfraktionen vil dog normalt være dyrere pr. ton end ved gylletransport. Transportomkostninger pr. ton er imidlertid ikke noget godt mål at anvende her, idet den tørstofrige fiberfraktion indeholder et større gaspotentiale pr. ton

Dette er analyseret i tabel 8.3.

Tabel 8.3. Transportomkostninger pr. ton behandlet, pr ton tørstof og pr. m ³ methan												
	Udgangsmængde, 1000 tons	Dimensionerings mængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Transportomkostninger 1000 kr/år	Tons tørstof tilført	1000 M ³ methan prod.	Kr. pr ton behandlet	Kr. pr ton tørstof	Kr. pr m ³ methan
Scen 1	252	252	-	+	-	-	4461	13486	3040	18	331	1,47
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	4461	13486	3364	18	331	1,33
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	4461	13486	3344	18	331	1,33
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	4176	17354	4350	24	241	0,96
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	4174	17354	4273	24	241	0,98
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	7061	19266	5268	20	367	1,34
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	4162	17354	3604	24	240	1,15

Det fremgår af tabellen, at transportomkostningerne pr. ton er størst ved indtransport af både fiber og gylle, og lavest ved rent gyllebaserede systemer. Men dette billede ændres noget, når der tages hensyn til tørstofindholdet, og dermed også for gasproduktionen pr. ton. Men selv denne korrektion giver ikke hele svaret på problemet, idet der også indgår omkostninger til selve separeringen, enten på gården eller på anlægget. Resultaterne af denne analyse vises i tabel 8.4.

Tabel 8.4. Samlede omkostninger til separering og transport inkl. borttransport												
	Udgangsmænde, 1000 tons	Dimensionserings mængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Separerings- og transportomkostninger 1000 kr/år	Tons tørstof tilført	1000 M3 methan prod.	kr pr ton behandlet	Kr pr ton tørstof	Kr pr m ³ methan
Scen 1	252	252	-	+	-	-	5004	13486	3040	20	371	1,65
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	4993	13486	3364	20	370	1,48
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	5672	13486	3344	23	421	1,70
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	8830	17354	4350	51	509	2,03
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	8832	17354	4273	51	509	2,07
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	8756	19266	5268	24	454	1,66
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	8331	17354	3604	48	480	2,31

Inddragelse af separeringsomkostningerne betyder, at omkostningerne pr. ton behandlet, pr. ton tørstof og pr. m³ methan produceret er størst i de scenarier, hvor der foretages gårdseparering. Men atter kan der peges på elementer, der er afgørende for den samlede vurdering, men som ikke er indeholdt i analysen i tabel 8.3 og 8.4, nemlig spørgsmålet om tørstofniveauet i anlægget, og dermed kapacitetsudnyttelsen. Dette er afgørende for, at systemanalysen samlet set peger på de tørstofjusterede scenarier (med gårdseparering) som de mest lovende. En analyse af dette er vist i tabel 8.5.

Tabel 8.5. Behandlingsomkostninger (i biogasanlægget) udtrykt pr. ton behandlet, pr. ton tørstof tilført og pr. m³ methan produceret

	Udgangsmængde, 1000 tons	Dimensjoneringsmængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Behandlingsomkostninger i anlægget 1000 kr	Tons tørstof tilført	1000 M ³ methan prod.	kr pr ton behandlet	Kr pr ton tørstof	Kr pr m ³ methan
Scen 1	252	252	-	+	-	-	9297	13486	3040	37	689	3,06
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	9297	13486	3364	37	689	2,76
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	9297	13486	3344	37	689	2,78
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	7361	17354	4350	43	424	1,69
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	7361	17354	4273	43	424	1,72
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	11926	19266	5268	33	619	2,26
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	7361	17354	3604	43	424	2,04

De viste behandlingsomkostninger omfatter alene omkostninger vedr. biogasanlægget, og ikke separering, forbehandling og transport. Når omkostningerne udtrykkes pr. ton input gør velkendte størrelsesøkonomiske fordele sig gældende, således at anlæg med størst behandlingskapacitet opnår de laveste omkostninger målt pr. ton. Men når behandlingsomkostningerne relateres til tørstof tilført og methan produceret fremgår det, at enhedsomkostningerne er lavest ved de tørstofjusterede anlæg.

I tabel 8.6 vises biogassidens samlede omkostninger udtrykt pr. ton behandlet, pr ton tørstof behandlet og pr. m³ methan produceret.

Tabel 8.6. Biogassidens bruttoomkostninger pr. ton behandlet, ton tørstof og m ³ methan												
	Udgangsmængde, 1000 t	Dimensionerings- mængde mængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Omk i alt biogassiden 1000 kr	Tons tørstof tilført	1000 M3 methan prod.	Kr pr ton behandlet	Kr pr ton tørstof	Kr pr m ³ methan
Scen 0	252	0	+	-	-	-	0	0	0	0	0	0
Scen 1	252	252	-	+	-	-	14301	13486	3040	57	1060	4,7
Scen 1a	252	252	-	+	+	-	14290	13486	3364	57	1060	4,25
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	14970	13486	3344	59	1110	4,48
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	14448	17354	4350	84	835	3,33
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	13130	17354	4273	76	757	3,07
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	22760	19266	5268	63	1181	4,32
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	12071	17354	3604	70	696	3,35

Biogassidens bruttoomkostninger kan opfattes som produktionsomkostninger for biogas med de ekstraomkostninger der er ifbm. forbehandling, efterseparering og borttransport. Tabellen viser de samme tendenser som den foregående tabel, nemlig at målt pr. ton input er de traditionelle systemer billigst pr. enhed, men når produktionsomkostningerne udtrykkes pr. ton tørstof eller pr. m³ methan produceret, er de tørstofjusterede systemer billigst.

8.6. Omkostninger til separering

Som tidligere nævnt, er der forudsat anvendt en båndfilterseparator ved separering på gårdene og en decantercentrifuge ved efterseparering på anlægget. Til beregning af separeringsomkostningerne er anvendt forudsætninger fra Landscentrets Farmtest af Kemira Miljø's båndfilterseparator. Mht. omkostninger ved decantercentrifugering er beregningerne baseret på FØI rapport 142, Separering af gylle. Begge separator typer kan i princippet anvendes til gårdseparering, både som stationære og mobile systemer. Båndfilterseparatoren er i projektet valgt til gårdseparering, eftersom denne type er mest velegnet til at opkoncentrere organisk stof, med henblik på senere biogaspro-

duktion. Decantercentrifugen synes at have sin stærke side som stationær separator med stor kapacitet og dermed lave omkostninger pr. separeret enhed, hvilket også fremgår af nedenstående tabel 8.7, hvor de beregnede omkostninger pr. ton gylle separeret er anført. Scenarie 2 er anvendt som eksempel.

Tabel 8.7. Estimerede omkostninger til separering i scenarie 2

	Båndfilterseparator	Decantercentrifuge
Antal gårde med forseparering	101	-
Tons gylle der separeres på gårdene	212500	-
Tons afgasset gylle der eftersepareres på anlægget	-	173000
Tons fiberfraktion produceret	25500	24000
Tørstofindhold	30 pct.	30 pct.
Omkostningsberegninger, kr./ton		
Polymerer	8	0
Vand	0,18	0
Elforbrug	0,92	1,25
Tilsyn	0,91	0,15
Reparation og vedligehold	1,76	1,4
Forrentning og afskrivning	4,8	1,7
Samlede omkostninger pr. ton	16,57	4,5

Tabellen viser beregnede omkostninger til separering på hhv. ca. 17 og 5 kr. pr. ton separeret gylle.

De forskellige scenarier anvender separeringsteknologien på forskellig måde, og med meget forskellig betydning for omkostningerne hertil. I scenarie 0 separeres 35 pct. af svinegyllen for at opfylde forudsætningen om P balance. I scenarie 2, 2a og 2c anvendes også gårdseparering med betydelige omkostninger til følge, men det sker som nævnt af hensyn til maksimering af tørstofindholdet i biogasanlægget. De samlede omkostninger til separering i de forskellige scenarier fremgår af tabel 8.8.

Eftersepareringen er i alle tilfælde billigere end gårdsepareringen i scenarie 0. Det gælder også for scenarier, hvor hele mængden eftersepareres, fordi fibrene ønskes forbehandlet og recirkuleret.

De laveste omkostninger til efterseparering findes i scenarie 2c, hvor der af den tørstofrige afgassede gylle skal separeres en mindre mængde for at opfylde kravet til fosforbalancen.

Tabel 8.8. Omkostninger til separering i forskellige scenarier, 1.000 kr.

	Udgangsmængde, 1000 tons	Dimensioneringsmængde, 1000 tons	Forseparering	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Gårdseparering	Efterseparering på anlægget
Scen 0	252	0	35 pct.	-	-	-	1530	0
Scen 1	252	252	-	+	-	-	0	402
Scen 1a	252	252	-	+	-	-	0	402
Scen 1b	252	252	-	+	+	-	0	1078
Scen 2	360	173	78 pct.	+	+	(+)	3621	781
Scen 2a	360	173	78 pct.	+	+	{+}	3621	781
Scen 2b	360	360	-	+	+	(+)	0	1463
Scen 2c	360	173	78 pct.	+	-	-	3621	256

8.7. Omkostninger til vådoxidering og trykkogning

I projektet er der analyseret for to typer forbehandling, vådoxidering og trykkogning. For nærmere beskrivelse af disse teknologier se kapitel 3.

Datagrundlaget for omkostningsberegningerne vedr. forbehandling er for vådoxideringens vedkommende leveret af Biocentrum – DTU og Biogasol A/S, og for trykkogningens vedkommende af Lildal A/S, der har mange års erfaring med produktion og salg af trykkogere til destruktionsanstalter og affaldsbehandlingsanlæg. Procesvarmen til forbehandlingen forudsættes produceret i dampkedler på biogas. Energiforbruget her til er oplyst af hhv. DTU og Lildal A/S, og den nødvendige kedelkapacitet beregnet på baggrund heraf. Oplysninger om kedelpriser er givet af Søren Mulvad, Danstoker i Herning

Forudsætninger og beregninger anvendt i scenarie 2 og 2a vises i tabel 8.9.

Det fremgår af tabellen, at de beregnede behandlingsomkostninger til vådoxidering er noget højere end for trykkogning. Til gengæld er methanudbyttet højere, og samlet viser resultaterne, at for systemet som helhed synes vådoxidering at være en smule gunstigere end trykkogning med de her anvendte forudsætninger. Vådoxideringsanlægget er ifølge det oplyste optimeret med hensyn til lavt elforbrug og genvinding af varmemeforbrug. Desuden er der forudsat en ret betydelig varmeproduktion under pro-

cessen. Tallene i tabellen for vådoxidering er da også meget lavere end for trykkogningsanlægget. Der er her tale om kalkulationer uden baggrund i erfaringer fra fuldskalaanlæg, og de må derfor antages at være behæftet med en vis usikkerhed.

Tabel 8.9. Forudsætninger og omkostningsberegninger ved forbehandling

	Vådoxidering (scenarie 2)	Trykkogning (scenarie 2a)
Behandlingskapacitet ton fiber/år	20000	20000
Investering forbehandlingsanlæg, mio. kr.	5,4	1,67
Investering kedel mv.	0,64	0,88
Investering i alt	6,04	2,55
Elforbrug, mwh	7,56	279,3
Beregnet gasforbrug til dampproduktion, m ³ CH ₄	55552	555246
Iltforbrug, kg	190000	0
Tilsyn	1 mand	½ mand
Udgift el, kr.	3800	139650
Udgift varme, kr.	¹⁾	¹⁾
Udgift ilt, kr.	285000	0
Tilsyn, kr.	400000	200000
Reparation og vedligehold inkl drift af dampkedel, kr.	114760	117600
Driftsudgifter i alt, kr.	803560	457250
Driftsudgifter pr. ton fiber excl. Varme	42	24
Kapitalomkostninger pr. ton fiber	25	11
Behandlingsomkostning kr. pr. ton fibre, excl. Varme	67	35

¹⁾ Det er forudsat, at der anvendes biogas til dampproduktion, hvorved salget af biogas reduceres.

Der synes at være et potentiale for at optimere energiforbruget på trykkogeren, ikke mindst varmemeforbruget, hvilket almindeligvis vil være af betydelig interesse for et energiproducerende anlæg. Hvis trykkogeren fx kan udstyres med en varmeveksler til 0,5 mio. kr. vil behandlingsprisen ganske vist stige, men hvis gasforbruget derved fx kunne halveres ville nettoomkostningen for systemet som helhed falde med 2 kr. pr. ton udgangsmængde, hvorved scenarie 2 a ville være på linie med det gunstigste alternativ.

For scenarie 2 og 2a er de beregnede nettoomkostninger for systemet som helhed på 58-60 kr. pr ton udgangsmængde. Med den usikkerhed, der er på de parametre, der indgår, er det ikke muligt at afgøre hvilket af de to scenarier, der er bedst.

8.8. Resultater ved anvendelse af normtal for tørstofindhold i gylle

Som det blev nævnt indledningsvist, er der også gennemført beregninger med et højere tørstofindhold i oplandets gylle, nemlig svarende til normtallene. Resultaterne af disse beregninger findes i tabel 8.10. Det er næppe realistisk at opnå så høje niveauer for tørstofindhold i dansk gylle på kort sigt med de nuværende stald og fodringssystemer. Men fra andre lande kendes betydeligt højere tørstofindhold i rågylle end under danske forhold.

Resultaterne i tabel 8.10 ændrer ikke på hovedindtrykket fra tidligere analyser. Tabellen viser, at biogasscenarierne generelt opnår en markant bedre konkurrencedygtighed overfor 0 scenariet, netop fordi tørstofindholdet, og dermed gaspotentialet er noget højere pr. ton input. Resultaterne viser også, at forbehandling i så fald ikke er nær så interessant som det er tilfældet, når der forudsættes en tyndere gylle, som i de foranstående analyser.

Tabel 8.10. Resultatskema, normbaseret tørstofindhold i gyllen

Tabel 8.10. Resultatskema, normbaseret tørstofindhold i gyllen

Resultatskema fremtidens biogasanlæg, scenarie 0-2, P balance som harmonikriterie, med borttransport af overskydende næringsstoffer som fiber, TS som normal
Talstørrelser og beløb i 1000 tons og 1000 kr. i 2005 priser
Negative tal betyder, at der er tale om en negativ nettoomkostning, altså et overskud

	Udgangsmængde 1000 ton/år		Dimensioneringsmængde 1000 ton/år		Forsparening	Efterseparering	Recirkulering	Forbehandling	Opbevaring	Udkørsel	Bortrans overskudsfiber	Køb Handelsgødning	Udkørsel handelsgødning	Gårdseparering	Løbrugsstid i alt	Kr pr ton udgangsmængde	Ind/udtransport af gylle	Indtransport fiber	Forbehandling af fibre	Biogasanlæggets nettoresultat	Efterseparering	Andel der eftersepareres	Bortransport overskudsfiber	Biogasside i alt	Behandlingspris, kr pr ton dimmængde	System i alt	kr/ ton udgangsmængde	Methanudbytte m ³ CH ₄ /ton input
Scen 0 ¹⁾	178	0	35 pct.	-	-	-		2698	1852	381	3466	393	1043	9833	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9833	55	0,0	
Scen 1	178	178	-	+	-	-	2798	1714	0	3125	349	0	7986	45	3150	0	0	143	322	29 pct.	150	3765	21	11751	66	17,1		
Scen 1a	178	178	-	+	-	-	2803	1708	0	3117	348	0	7976	45	3150	0	0	-715	322	29 pct.	137	2894	16	10870	61	18,9		
Scen 1b	178	178	-	+	+	-	2802	1711	0	3270	355	0	8138	46	3150	0	0	-663	799	100 pct.	140	3426	19	11564	65	18,8		
Scen 2 1)	254	180	48 pct.	+	+	(+)	4004	2444	0	4387	470	1519	12824	50	3446	551	1284	-4097	809	100 pct.	242	2234	12	15059	59	26,1		
Scen 2a 1)	254	180	48 pct.	+	+	{+}	4002	2445	0	4393	471	1519	12830	51	3444	551	660	-2942	809	100 pct.	248	2770	16	15600	61	25,5		
Scen 2b	254	254	-	+	+	(+)	4009	2442	0	4509	489	0	11449	45	5001	0	1347	-3480	1085	100 pct.	225	4178	16	15627	62	20,8		
Scen 2c 1)	254	180	48 pct.	+	-	-	3991	2457	0	4620	498	1522	13088	52	3426	551	0	-1751	258	30 pct.	302	2786	15	15874	62	21,0		

{+} = Trykkoinding af recirkuleret fiber

(+) = Vådoxidation af recirkuleret fiber

¹⁾ Andel af svinegyllen separeret på gårdene, fiberen og usepareret kvæg og svinegylle transporteres til anlægget.

8.9. Følsomhedsanalyser

Gasproduktion

Det kan diskuteres, om det er for høje omkostninger eller utilstrækkelig energiproduktion, der er årsagen til, at de analyserede scenarier ikke er konkurrencedygtige overfor referencen, i hvert fald ikke uden affaldstilsætning. Det vurderes da også at være den mest nærliggende løsning at tilsætte en vis mængde affald. I nedenstående tabel 8.11 er det vist, hvorledes en forøgelse af gasproduktionen kan forøge konkurrenceevnen i forhold til referencen markant, uden at det kræver urealistisk høje gasudbytter. Udgangspunktet er at nettoomkostningerne pr. ton udgangsmængde i scenarie 0 er 49 kr. pr. ton.

Tabel 8.11. Nettoomkostninger pr. ton udgangsmængde ved stigende gasproduktion

Øget gasproduktion	0	+10 pct.	+20 pct.	+30 pct.	+40 pct.	+50 pct.	+60 pct.
Kr./ton udgangsmængde							
Scenarie 1	68	65	62	59	55	52	49
Scenarie 2	58	54	51	48			
Scenarie 2a	60	56	53	50			

Det fremgår, at gasproduktionen i scenarie 1 skal øges med 60 pct. før referencens nettoomkostninger på 49 kr. / ton udgangsmængde kan matches. Det lyder umiddelbart af meget, men skyldes, at gasudbyttet fra gylle er estimeret så lavt, nemlig 12,1 m³ CH₄ pr. ton gylle. Udbyttet skal øges til ca. 19 m³. CH₄, hvilket svarer til ca. 30 m³ biogas pr. ton, et niveau som bestemt er realistisk at opnå, eftersom de fleste eksisterende anlæg ligger over dette niveau, ved tilsætning af organisk affald. For de to andre scenarier skal produktionen øges med ca. 30 pct..

Transportafstandens betydning

En af de forudsætninger, der er fastsat med en vis usikkerhed er transportafstanden. Der er taget udgangspunkt i de 7-10 km som er det typiske for eksisterende anlæg, men afstanden er skaleret i forhold til det opland, der er skønnet nødvendigt i forhold til de anlægsstørrelser, der regnes på. I områder med meget stor husdyrtæthed vil gennemsnitsafstanden muligvis kunne gøres mindre end de 12 hhv. 15 km, der er anvendt i beregningerne. Det afhænger af, hvor stor tilslutningen er til biogasanlægget, dvs. hvor stor en del af gyllen i oplandet, der rent faktisk kan tilføres anlægget. Desuden vil afstanden til det område, hvor overskudsfiberen i givet fald kan afsættes også have betydning. Tabel 8.12 viser betydningen heraf for scenarie 0,1 og 2, når gen-

nemsnittsafstanden varieres +/- 5 km og afstanden ved borttransport af fiberfraktionen varieres -25 og + 50 km.

Tabel 8.12. Systemets nettoomkostninger pr. ton ved varierende transportafstande

Scenarie	0	1	2
Grundberegning			
Afstand til anlæg, km	12	12	15
Afstand ved borttransport, km	50	50	75
Systemets nettoomkostninger, kr. pr. ton udgangsmængde	49	68	58
Reducerede afstande			
Afstand til anlæg, km	7	7	10
Afstand ved borttransport, km	25	25	50
Systemets nettoomkostninger, kr. pr. ton udgangsmængde	48	65	55
Øgede afstande			
Afstand til anlæg, km	17	17	20
Afstand ved borttransport, km	100	100	125
Systemets nettoomkostninger, kr. pr. ton udgangsmængde	50	72	60

Scenarie 2 har som udgangspunkt større afstande end de øvrige, da der skal hentes gylle og fiber fra et større opland. Tabellen viser, at koncept 1 er lidt mere følsom overfor ændringer i transportafstanden end koncept 2. Det skyldes at hele mængden indtransporteres i form af gylle, hvorimod det meste i scenarie 2 indtransporteres som fiber, der jo som det er fremgået er det mest effektive system når alle forhold er taget i betragtning. Tabellen viser endvidere, at en ændring af afstanden ved borttransport af fiberfraktionen i scenarie 0 ikke har den store betydning for det samlede system.

8.10. Hovedkonklusioner

Resultaterne viser, at ingen af de analyserede scenarier med biogasanlæg resulterer i lavere nettoomkostninger pr. ton gylle end i referencen, situationen uden biogasanlæg. Det skyldes, at gaspotentialet i gyllen med de anvendte, aktuelle afregningspriser på el og gas, ikke er tilstrækkeligt til at kunne dække omkostningerne ved at udvinde gassen, selv ikke ved de teknologiske nyskabelser, der er analyseret i rapporten. Det er til gengæld muligt ved hjælp af disse konceptuelle ændringer af systemet at forøge rentabiliteten i det samlede system i forhold til det traditionelle biogasfællesanlægskoncept. Derved opnås, at afhængigheden af tilsætning af organisk affald kan

mindskes, men ikke undværes, under forudsætning af de aktuelle afregningspriser for biogas og el.

Serieforbundne reaktorer synes at være en fordel, men de bedste resultater er fundet i de scenarier, hvor tørstoffet i anlægget maksimeres ved tilførsel af fiber, der er separeret på gårdene.

Potentialet i vådoxidering og trykkogning af recirkulerede fibre er usikkert, eftersom resultaterne er på niveau med det gunstigste af de øvrige scenarier, hvor der ikke foretages nogen forbehandling. Forbehandlingen resulterer i ikke uvæsentlige stigninger i gasudbyttet, men behandlingsomkostningerne og omkostninger til efterseparering (hele mængden separeres) trækker i nedadgående retning. Specielt omkostningerne til vådoxidation er usikkert fastsat, eftersom der ikke findes erfaringer hermed i fuld skala.

Hovedresultaterne viser, at tørstofniveauet i gyllen og i anlægget er afgørende for rentabiliteten. Det betyder også, at fordelene ved gårdseparering reduceres, hvis tørstofindholdet i gyllen kan øges. Det gælder især, hvis gyllen kan indsamles over et begrænset område svarende til, at anlægget placeres optimalt i et husdyrtæt område, med god tilslutning fra landmændenes side.

Eftersom det er forudsat, at det er biogasanlægget, der bærer omkostningerne ved efterseparering og borttransport af overskudsfiber, er det ved de mere traditionelle biogasfællesanlægskoncepter, at landmændene opnår de største økonomiske gevinster. Det skyldes i sagens natur, at de undgår at skulle foretage og bekoste separering på gårdene og borttransport af overskudsfiberen. På den anden side set, kan landmændene foretage den gårdseparering, der er ønskelig af hensyn til optimering af biogasanlæggets resultater, uden væsentlige meromkostninger i forhold til referencen, scenarie 0.

Serieforbundne reaktorer og eventuelt længere opholdstid synes med baggrund i resultaterne at være en oplagt mulighed for nye anlæg til at optimere anlægskonceptet. Evt. i kombination med tilførsel af fiber fra gylle separeret på gårdene, som er et lovende tiltag, der kan tages i anvendelse også af eksisterende anlæg, efterhånden som erfaringerne hermed indhøstes fra praksis.

Litteraturliste

Håndbog til driftsplanlægning, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, 2005.

Jacobsen, B.H. et al. (2002): Separering af gylle – en teknisk-økonomisk systemanalyse. Fødevareøkonomisk Institut, rapport nr. 142.

Nielsen, L.H. et al. (2002): Samfundsøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Fødevareøkonomisk Institut, rapport nr. 136.

9. Samfundsøkonomiske vurderinger

Seniorrådgiver Johannes Christensen, Fødevareøkonomisk Institut

Tidligere samfundsøkonomiske analyser af biogasfællesanlæg (Nielsen, L.H. et al. (2002) viser ganske klart, at anlæggene hverken er driftsøkonomisk eller samfundsøkonomisk rentable med mindre gyllen suppleres med biologisk affald. Disse resultater er senest blevet bekræftet via EU-projektet PROBIOGAS, hvor der med opdaterede forudsætninger er gennemført både drifts- og samfundsøkonomiske analyser for 6 europæiske lande. Forudsætningerne er naturligvis tilpasset situationen i de respektive lande, men især de samfundsøkonomiske priser ligger tæt op af, hvad der også vil gælde her i landet.

Driftsøkonomisk har affaldet effekt på især to områder. Gasproduktionen øges op til eller over den break-even grænse på 30-35 m³ biogas pr. ton gylle + affald som hidtil har været en forudsætning for økonomisk rentabel drift. Endvidere opnås et modtagegebyr, hvis størrelse afhænger af, hvad det er for affald. For det højtydende affald vil der normalt være tale om, at anlægget skal betale en markedspris som reguleres via udbud og efterspørgsel.

Samfundsøkonomisk er det naturligvis også positivt, at der opnås en højere gasproduktion som øger indtjeningen. Samtidig opnås en større CO₂ fortrængning, som har en samfundsøkonomisk værdi, og i de hidtidige samfundsøkonomiske analyser indgår en værdi af de med affaldet tilførte næringsstoffer. Dertil kommer en samfundsøkonomisk værdi udtrykt som en besparelse i forhold til anden afsætning af affaldet (dels ved udspredning på landbrugsjord, dels ved forbrænding), der i (Nielsen, L.H. et al., 2002) tilsammen er sat til 125 kr. pr. ton affald. Eftersom der er forudsat tilsætning af 20 pct. affald bidrager dette derved med en ganske betydelig værdi i den samfundsøkonomiske beregning.

I den samfundsøkonomiske analyse indgår energien til markedsværdi (uden tilskud), der er noget lavere end den værdi der anvendes i den driftsøkonomiske analyse, hvor der indregnes effekten af el-tilskud og afgiftsfritagelse for varme. Når den samfundsøkonomiske rentabilitet derefter alligevel bliver positiv skyldes det, at værdien af eksternaliteterne (som ikke er med i den driftsøkonomiske analyse) er så høj, at de mere end opvejer den mindre indtjening på energien.

9.1. Samfundsøkonomi i relation til rapportens scenarier

I forbindelse med dette projekt vil der ikke blive gennemført egentlige samfundsøkonomiske analyser. Dels er formålet med den model, der er anvendt, primært at lave sammenlignende studier af det driftsøkonomiske potentiale i nogle nye anlægskoncepter for at vurdere om de vil kunne gøre biogasanlæg mindre afhængige af tilsætning af supplerende affald. Dels vil resultatet af en samfundsøkonomisk analyse være givet på forhånd, da scenarierne alene er baseret på gylle, og dermed uden de positive bidrag til samfundsøkonomien som kommer med affaldet. Den væsentligt forøgede gasproduktion i nogle scenarier opvejes delvis af forøgede omkostninger.

Det fremgår klart af de driftsøkonomiske analyser i afsnit 8, at referencescenariet med konventionel biogasteknologi suppleret med en efterseparering (scenarie 1) ikke er driftsøkonomisk rentabelt i forhold til et grundscenarie uden biogasanlæg, men med gårdseparering (scenarie 0). Der mangler tydeligvis et bidrag svarende til en højere gasproduktion til en værdi af mindst 20 kr. pr. ton input svarende til 6,5 m³ metan.

Samfundsøkonomisk vil rentabiliteten også være negativ, idet der ikke er noget positivt bidrag fra affald, ligesom der heller ikke er andre specielle miljømæssige eksternaliteter, der kan indregnes. Der kan naturligvis indregnes en værdi af reduceret CO₂-emission, reduceret N-udvaskning og reduceret ammoniakfordampning (jf. tabel 6.1 og 6.2) samt reduktion af lugtskener. Men disse forhold indgik også i de tidligere analyser, hvor samfundsøkonomien alligevel var negativ.

De scenarier, hvor der er forudsat kombinationer af forseparering, efterseparering, recirkulation af vådoxiderede og trykkogte fibre samt to-trins bioforgasning, giver som vist en højere gasproduktion, men også højere omkostninger. Ingen af scenarierne viser positiv driftsøkonomisk rentabilitet set i forhold til situationen uden biogasanlæg (reference 0). Men rentabiliteten er dog bedre end det konventionelle biogasanlæg (reference 1), hvilket indikerer, at anlæggene vil kunne klare sig med mindre affald for at opnå driftsøkonomisk balance.

Samfundsøkonomisk vil ingen af disse scenarier være rentable. Der er ikke nævneværdig reduktion af nitratudvaskningen (tabel 6.3) i forhold til referencen, scenarie 1. Ifølge tabel 6.4 vil scenarier med forseparering på gårdene ydermere give anledning til en mindre CO₂ effekt, da det letomsættelige organiske stof i den tynde fraktion, der ikke afgasses, giver anledning til metan emission på gårdene. Samfundsøkonomisk giver dette anledning til et tab i CO₂ regnskabet.

9.2. Muligheder for forbedring af samfundsøkonomien

Mulighederne for at opnå samfundsøkonomisk rentabilitet i de viste biogasscenarier ligger først og fremmest i tiltag, der samtidig forbedrer driftsøkonomien.

Her kan peges på tilsætning af affald i varierende grad og navnlig den type affald, der samfundsøkonomisk kan tillægges en værdi i forhold til alternativ bortskaffelse (forbrænding, deponi etc.). Herved spares samfundsøkonomiske omkostninger, der kan godskrives biogasanlægget.

Man kunne naturligvis forestille sig, at reducerede behandlingsomkostninger og/eller yderligere forøget gasudbytte i de teknisk avancerede anlægskoncepter kunne give den ønskede effekt. Det forekommer dog ikke særlig sandsynligt, at bidraget herfra kan blive tilstrækkeligt.

Endelig kan peges på den landbrugsmæssige side af sagen. Hvis situationen for oplandet er den, at det ikke er realistisk at få afsat fiberfraktionen til gødningsformål uden for området og/eller der er behov for at få afsat endnu større mængder næringsstoffer end forudsat i scenarierne vil en simpel gårdseparering ikke løse problemet.

Biogasanlæg med efterseparering kan da have en fordel ved, at det er lettere at organisere en afbrænding og/eller en yderligere opgradering af næringsstofferne. Tidligere analyser i en arbejdsgruppe under Fødevareministeriet (Hjort-Gregersen. K. og Christensen, J. (2005) har vist, at der er både drifts- og samfundsøkonomiske perspektiver i at foretage en afbrænding af fiberfraktionen. Lovgivningsmæssigt ønsker man, at afbrænding alene foretages af afgasset materiale der eftersepareres, idet fritagelse for affaldsforbrændingsafgiften (330 kr. pr. ton) kun vil ske i sammenhæng hermed.

En sådan bortskaffelsesmulighed kan især blive samfundsøkonomisk (og erhvervsøkonomisk) værdifuld, hvis alternativet er reduktion af husdyrholdet i oplandet, fx for at opnå en lavere belastning af arealerne end normerne foreskriver med sigte på at beskytte naturfølsomme områder, overfladevand og grundvandsressourcer. En eventuel reduktion af husdyrholdet kan samfundsøkonomisk være ret kostbart (FOI, 2004). Det ligger dog uden for dette projekts rammer, at gå nærmere ind i sådanne beregninger.

Litteraturliste

- Final Assessment report PROBIOGAS. An EIE/Altener project, Promotion of Biogas for Electricity and Heat Production in EU countries. Economic and Environmental Benefits of Biogas from Centralised Co-digestion. Bioenergigruppen, Syddansk Universitet, Esbjerg (under udarbejdelse).
- Fødevareøkonomisk Institut (2004): Økonomiske analyser af virkemidler til reduktion af næringsstofbelastningen i Ringkøbing Fjord. Working Paper 04/2004.
- Hjort-Gregersen, K. og Christensen, J. (2005): Afbrænding af fiberfraktion fra separeret gylle. Drifts- og samfundsøkonomiske analyser. Notat til arbejdsgruppe under Fødevareministeriet. www.foi.kvl.dk
- Nielsen, L.H. et al. (2002): Samfundsøkonomiske analyser af biogafællesanlæg – med tekniske og selskabsøkonomiske baggrundsanalyser. Fødevareøkonomisk Institut, rapport nr. 136.

Summary, Conclusions and Perspectives

By senior consultant Johannes Christensen and research fellow Kurt Hjort-Gregersen,
Institute of Food and Resource Economics

The main objective of the project was the identification and analysis of new technical concepts for centralized biogas plants, which would make them less dependant on organic waste supplies, and thus be economically self sustained mainly on manure supplies.

The analyses have been carried out as system analyses, where plant concepts have been evaluated in connection with agricultural areas. 8 scenarios were analyzed, of which 2 were reference scenarios. One without a biogas plant, but with on-farm separation in order to reach phosphorous balance in the area by exporting fiber fraction (Scenario 0) to other regions, and one with a conventional centralized biogas plant with a post separation facility, likewise to enable the export of surplus phosphorous (Scenario 1).

The remaining 6 scenarios are:

1a. **Serial digestion** in two digesters, and partial **post separation** of digested manure so phosphorous balance in the area is obtained.

1b. Conventional centralized biogas plant, **post separation** and **recycling** most of the **fiber fraction**. Export of fiber fraction till phosphorus balance in the area is obtained.

2. **On farm separation** of major parts of pig manure. Fiber fraction supplied to the biogas plant and mixed with remaining conventional slurry until a **dry matter content of 10% in the biogas plant** has been reached. The thin fraction remains on the farms and is utilized as a fertilizer. **Post separation** of the digested manure, **pre treatment** (wet oxidation) and **recycling** most of the **fiber fraction** to the digesters. The remaining fiber fraction is exported until phosphorus balance in the area is reached.

2a. Same as 2, but **pressure boiling** of the fiber fraction in stead of wet oxidation.

2b. Same as 2, but **no on farm separation**, which means that the entire manure amount in the area is supplied to the biogas plant.

2c. **On farm separation** until **10% dry matter content in input** is reached, no pre-treatment but post separation until phosphorus balance in the area is obtained.

In the analyses dry matter contents are used as they are found in practical Danish agriculture.

Relatively large plant dimensions have been assumed. In scenarios 0, 1, 1a and 1b, where on farm separation is not included, the manure quantities in question amount to 700 tonnes per day, which equals the amount in the agricultural area looked upon. In scenarios 2-2c 1000 tonnes per day are found in the agricultural area, but this amount is only supplied to the plant in scenario 2b. In 2, 2a, and 2c which include on farm separation, only 480 tonnes are supplied to the plant on a daily basis, which makes the average dry matter content amount to 10%.

As far as agricultural issues are concerned the scenarios are equalized in the sense that surplus phosphorus is always exported to other regions in order to obtain phosphorus balance in the agricultural area looked upon. By adjusting fertilizer purchase, the need for nutrients is ensured. In this way increased fertilizer values from the digestion process are accounted for. Equal crop rotation and harvested yields are assumed in either scenario. The well-known effect from the digestion of nitrogen utilization is found, but only little further effect may be expected from further pretreatment and separation.

The main purpose by the outlined methods for manure treatment is to increase biogas yields. The yield levels used in the analyses are partly found from literature studies, partly from lab- or pilot scale trials, accomplished as a part of the project. For different scenarios following methane yield levels are estimated.

Scenario	Dry matter in input, %	Treatment	m ³ CH ₄ / ton input
1	5,4	None	12,1
1a	5,4	Serial digesters	13,3
1b	5,4	Recycling of fibers	13,2
2	10	Wet oxidation of recycled fibers	25,1
2a	10	Pressure boiling of recycled fibers	24,7
2b	5,4	Wet oxidation of recycled fibers	14,6
2c	10	On farm separation, no treatment	20,8

It appears that the largest effects are reached by concentrating dry matter content via on farm separation. Between scenario 1 and scenario 2c the only difference is on farm separation, which increases methane yields from 12,1 to 20,8 m³ methane per tonne input. Serial digesters (1a) and fiber recycling (1b) increase yields by 10% and wet oxidation of fibers approx. 20%. Highest yields are obtained when on farm separation is combined with wet oxidation (2) or pressure boiling (2a), which compared to the conventional centralized biogas plant (1) more than double methane yields. The economic analyses will clarify if yield increases are able to match the cost increase that must be expected when dry matter contents are increased and different pre treatment technologies are introduced.

Main conclusions

Results from the economic analyses are listed below.

Scenario	On farm separation	Post separation	Pre treatment	Farmer's part DKK/tonne input	Biogas plant part DKK/tonne input	Total system DKK/tonne input
0	+	-	-	49	-	49
1	-	+	-	39	29	68
1a	-	+	Serial digesters	39	25	65
1b	-	+	Recycling of fibers	40	28	68
2	+	+	Wet oxidation of recycled fibers	49	18	58
2a	+	+	Pressure boiling of recycled fibers	49	24	60
2b	-	+	Wet oxidation of recycled fibers	39	27	66
2c	+	+	On farm separation, no treatment	50	19	59

Farmer's part includes manure storage and spreading costs, on farm separation and purchase and spreading of chemical fertilizer. In scenario 0 export of surplus fibers is also included. Biogas plant part include in and out transport of slurry, in transport of fibers, export of surplus fibers (phosphorus), fiber treatment, post separation and cost and sales in the biogas plant itself.

Key figures for farmer's part and total system are related to total manure amount in the area, while figures for the biogas plant part are related to the amount supplied to the plant, which is somewhat lower in scenarios where on farm separation is included. For that reason only in scenarios without on farm separation the figures may be added with no further notice. The biogas plant part only refers to the economy of the biogas plant, where agricultural effects are not taken into account.

Main conclusion from the economic analyses is that it is possible by on farm separation and pre treatment at the biogas plant to improve economic performance of the system as a whole and thereby decrease the need for admixture of organic waste, or other high yielding biomasses.

On the other hand the increase in economic results does not enable plants to be economic compared to the situation with no biogas plant (0). If so net costs of the total system should be lower than 49 DKK pr. tonne manure in the area, which is not the case, according to the calculations.

In fact three scenarios produce equal results; scenario 2c with on farm separation, scenario 2 with wet oxidation and scenario 2a with pressure boiling. Scenario 2b where on farm separation is not included, but wet oxidation is included, is found to produce equal results as scenario 1, the traditional centralized biogas plant. The only favorable scenario with no on farm separation is scenario 1a, with serial digesters.

Farmers costs are lower in scenarios where no on farm separation takes place, as it is assumed that the biogas plant carry the costs for post separation and export of surplus fibers.

In general, costs in the biogas part are lowest, when dry matter contents have been concentrated to 10%, but as it appears, they are not too close to zero, which is the point of economic feasibility.

So it has to be concluded that supplies of organic waste, which lead to increased income by treatment fees and increased biogas production still is necessary. But some technical concepts, where a treatment of fibers takes place to increase methane yields, seem to decrease the dependence of organic waste.

Sensitivity analyses show that a treatment cost reduction via technological development will of course contribute, but it is unlikely that this can ensure economic opera-

tion based solely on manure. Further it is not likely that pre treatment can increase methane yields to an extent that it will ensure economically viable operation.

With the assumptions made, farmer's advantages will be limited. They depend on the assumption that it is possible to organize on farm separation in the area to a considerable extent without establishing a biogas plant, and that it is possible to export surplus fibers to other regions. If these preconditions cannot be met or if the need for nutrient export is higher, in order to protect environmentally vulnerable areas or fresh water systems, this could be different.

It would hardly be easy to convince many farmers in the area that on farm separation is a good idea unless the fiber fraction is easily exported. But the biogas plant may receive the fibers, and by that increase dry matter supplies to the plant and achieve increased energy production. From the biogas plant point of view, the problem is that not all the nutrients can be returned to farmers in the area, but have to be exported to crop producers in other regions. It may be easier to organize this export via the biogas plant by joint efforts. The possibility of disposal to incineration or further concentration of nutrients may likewise be easier due to larger amounts on hand.

Calculations do not show the mentioned issues. If scenario 0 is unrealistic, costs may be much higher, and a worst case calculation could be based on costs by livestock reductions due to increased environmental restrictions.

Today the possibilities and costs by exporting surplus manure or fibers form a barrier for on farm separation. This may be seen as an increase in the competitiveness of centralized biogas plants. But of course only to the extent that livestock producers are willing to pay a treatment/export fee, or alternatively carry the costs of on farm separation.

Socio economic analyses have not been carried out, but considerations have been made with respect to earlier analyses carried out in the field of centralized biogas plants. None of the analyzed plant concepts and scenarios are likely to be socio economically viable (without organic waste supplies), although some of them may perform better than the conventional centralized biogas plant.

In some scenarios significantly higher methane yields are achieved, but increased costs outweigh considerable shares of the increased income potential, and on farm separation lead to increased losses of CO₂ eqv., which result in socio economic losses

compared to the traditional concept. With respect to nitrate leaches and ammonia emissions only little effect of different treatment technologies has been found, and socio economic results are only little affected by that.

In the socio economic context it is very important that organic waste is not included, due to the fact considerable revenues (opportunity costs for waste incineration or disposal) can not be included.

The only chance for socio economic viability (without organic waste) would be found in the earlier mentioned agricultural aspects, i.e. the solution of the problems that may occur in the reference situation with no biogas plants, to ensure the export and disposal of surplus manure, which may eventually make it difficult to maintain a livestock production in a certain area and to ensure continued adjustments of farm structure in the future.

As a part of the project, veterinary risk-analyses have been carried out. For the first time in biogas plant history veterinary risks have been quantified in a way that it can be compared among plant concepts. A mathematic model has been developed, and probability calculations have been carried out to estimate the likelihood of presence and transfer of pathogens between different parts of the systems. Results are given as relative risks, i.e. the traditional centralized biogas plant is considered the probability 1 and the remaining concepts relative to that.

The model operates with two types of pathogen transfer, “field transfer” which refers to transfer of pathogens from fields on which digested manure has been spread and “activity transfer” which is pathogens transferred by persons or equipment during the handling of the manure from one part of the system to another.

Results will depend on whether “field transfer” or “activity transfer” is the primary source for pathogen transfer. If “field transfer” is most important, large effect from treatment in the plant is achieved compared to the situation with no biogas plant. If “activity transfer” is the dominant source the effect from treatment is much smaller. Based on experiences it is evaluated that “field transfer” is the dominant in practice.

Serial digesting turns out very strongly compared to the traditional concept and to wet oxidation and pressure boiling. This is due to the fact that the two latter are combined with on farm separation, which increases transfer risks if “field transfer” is attached to larger importance.

Introduction of centralized biogas plants and various treatment technologies does not automatically improve veterinary standards. It depends on specific systems and guidelines for sanitation and handling in different parts of the system. But if this is taken care of properly, centralized biogas plants and pre treatment technologies definitely have positive effects on pathogen reduction.

Perspectives for biogas business

Initiatives to improve economic performance of biogas plants must be of interest for those who operate biogas plants, those who plan the establishment of new plants, equipment suppliers and advisors.

Some results of the project are still uncertain, and specific recommendations for their introduction can not yet be given. Wet oxidation and pressure boiling strongly need further research, development and testing before these technologies can be recommended for practical use. This is due to the fact that they demand considerable investments, and the uncertainty about methane yields, operation strategies and costs. On the other hand, results are so promising that they deserve to be tested under conditions close to a practical situation. This may be accomplished in connection with the full scale test facility, which is under construction by Faculty of Agricultural Sciences in Foulum.

Other results seem closer to practical introduction. Considerable effects are found by on farm separation, supply of the fiber fraction to the biogas plant, and thereby increase the dry matter content, and thereby the energy production potential. This is especially true if farmers are willing to carry the costs of separation in return for the benefits they gain in cost savings from nutrient export and the possibility to breed more animals per area unit.

Testing of systems that include source separation in animal houses have been initiated, and if they turn out advantageous, separation costs may be lower than estimated in this project. Further, supply of fiber fraction is also an option for existing biogas plants.

Post separation at the biogas plant may take place no matter if previously on farm separation took place. Post separation should partly be seen as a part of recycling of fibers, and partly as an effort in the disposal of surplus nutrients, especially phosphorus. Either to crop producers outside the area covered by the biogas plant, or for incineration or further concentration of nutrients. The advantage is that a much larger

amount is available, and separation unit costs will be lower than by on farm separation.

Serial digesters or prolonged retention time, or possibly in combination with on farm separation, should also be relatively easy implemented if plants control more than one digester or have surplus capacity. The latter could be achieved by on farm separation, where the thin fraction is left on the farms, by which capacity in the digesters is made available.

As mentioned earlier it is not likely that separation and treatment of fibers enable centralized biogas plants to reach economically viable operation solely on the basis of manure under Danish conditions. But results from this project shows that it is possible to approach such situation. Plants will prove more resistant to failing waste supplies. But if waste supplies are maintained as usual, economic performance will be further improved.